



Universidad Pablo de Olavide

**PROGRAMA DE DOCTORADO EN ACTIVIDAD FÍSICA,
RENDIMIENTO DEPORTIVO Y SALUD**

TESIS DOCTORAL

**“Efectos del entrenamiento de fuerza con
distintas intensidades relativas y nivel de
rendimiento inicial sobre las respuestas
neuromuscular y hormonal”**

Autor: Carlos Otero Esquina

Director: Dr. Juan José González Badillo

Sevilla, Mayo de 2017

Agradecimientos:

No sería justo llegar a este momento sin agradecer la ayuda y el apoyo que me han brindado un gran número de personas sin las que no habría llegado, seguramente, ni a la mitad del camino que hoy me ha llevado hasta aquí.

A mis padres y mi hermana, por todos esos ánimos que me han dado para seguir en este camino cuando estuve a punto de abandonarlo. Sin ellos hoy no hubiese llegado hasta aquí.

A mi director, Juan José González Badillo, simplemente porque si no fuera por ti mi vida habría acabado en un colegio de secundaria de Galicia. Una gran parte de lo que tengo hoy es fruto de tus enseñanzas, de la aplicación del aprendizaje que me has transmitido, aunque al principio no me enterase de nada. Nunca olvidaré el trato exquisito que siempre me has dado y como me dejabas con la boca abierta en cada clase de teoría del entrenamiento. Conocerle fue uno de los mayores placeres que un alumno puede tener, y es un orgullo decir que mi tesis está dirigida por Don Juan José González Badillo, el máximo referente en el entrenamiento de fuerza.

A mi mejor amigo de la carrera sin duda alguna, Fernando Pareja Blanco. Sin ti, estoy seguro de que esta tesis no hubiese salido adelante. Eres el futuro del entrenamiento deportivo. Gracias por apoyarme y ayudarme siempre, tanto en lo personal como en lo profesional. Nos quedan muchos estudios todavía que sacar adelante.

A todos y cada uno de los 74 sujetos participantes en los 3 estudios de esta tesis doctoral, de los que aun a día de hoy recuerdo con nombres y apellidos. Vuestra entrega, implicación, responsabilidad y amabilidad han hecho que esto sea posible. Gracias.

ÍNDICE

| | |
|---|-----------|
| 1. Introducción..... | 5 |
| 2. Origen de la problemática objeto de estudio..... | 9 |
| 3. Estado actual de conocimiento..... | 12 |
| 4. ESTUDIO I. Efectos del entrenamiento de fuerza con cargas altas o bajas sobre el salto vertical, la velocidad y la fuerza en sujetos del mismo nivel de rendimiento inicial..... | 35 |
| 4.1 Planteamiento del problema..... | 35 |
| 4.1.1 Objetivos de la investigación..... | 36 |
| 4.1.2 Hipótesis..... | 36 |
| 4.2 Metodología..... | 37 |
| 4.2.1 Tipo de investigación..... | 37 |
| 4.2.2 Diseño del estudio..... | 38 |
| 4.2.3 Sujetos..... | 38 |
| 4.2.4 Variables objeto de estudio..... | 39 |
| 4.2.5 Procedimiento de evaluación..... | 41 |
| 4.2.6 Entrenamiento de fuerza..... | 45 |
| 4.2.7 Análisis Estadístico..... | 48 |
| 4.3 Resultados..... | 50 |
| 4.4 Discusión..... | 59 |
| 4.5 Conclusiones..... | 66 |
| 4.6 Aplicaciones Prácticas..... | 66 |
| 5. ESTUDIO II. Efectos del entrenamiento de fuerza con cargas altas o bajas sobre el rendimiento en el salto vertical, el sprint, la fuerza en sentadilla, la respuesta hormonal y la pérdida de salto vertical en la serie..... | 67 |
| 5.1 Planteamiento del problema..... | 67 |
| 5.1.1 Objetivos de la investigación..... | 69 |
| 5.1.2 Hipótesis..... | 69 |
| 5.2 Metodología..... | 71 |
| 5.2.1 Tipo de investigación..... | 71 |
| 5.2.2 Diseño del estudio..... | 71 |
| 5.2.3 Sujetos..... | 72 |
| 5.2.4 Variables objeto de estudio..... | 72 |

| | |
|--|-----|
| 5.2.5 Procedimiento de evaluación..... | 75 |
| 5.2.6 Entrenamiento de fuerza..... | 80 |
| 5.2.7 Análisis Estadístico..... | 83 |
| 5.3 Resultados..... | 85 |
| 5.4 Discusión..... | 101 |
| 5.5 Conclusiones..... | 117 |
| 5.6 Aplicaciones Prácticas..... | 117 |
| 6. ESTUDIO III. Efectos del entrenamiento de fuerza con cargas altas o bajas sobre la fuerza, el salto y el sprint en sujetos con distinto nivel de rendimiento inicial..... | 118 |
| 6.1 Planteamiento del problema..... | 118 |
| 6.1.1 Objetivos de la investigación..... | 119 |
| 6.1.2 Hipótesis..... | 119 |
| 6.2 Metodología..... | 120 |
| 6.2.1 Tipo de investigación..... | 120 |
| 6.2.2 Diseño del estudio..... | 121 |
| 6.2.3 Sujetos..... | 121 |
| 6.2.4 Variables objeto de estudio..... | 122 |
| 6.2.5 Procedimiento de evaluación..... | 124 |
| 6.2.6 Entrenamiento de fuerza..... | 124 |
| 6.2.7 Análisis Estadístico..... | 124 |
| 6.3 Resultados..... | 126 |
| 6.4 Discusión..... | 143 |
| 6.5 Conclusiones..... | 150 |
| 6.6 Aplicaciones Prácticas..... | 151 |
| 7. Conclusiones generales..... | 151 |
| 8. Futuras líneas de investigación..... | 152 |
| 9. Limitaciones de los estudios..... | 153 |
| 10. Relación de tablas..... | 154 |
| 11. Relación de figuras..... | 156 |
| 12. Glosario de acrónimos..... | 159 |
| 13. Referencias bibliográficas..... | 161 |
| 14. ANEXO I..... | 184 |

1. Introducción

El entrenamiento para la mejora de la fuerza ha sido investigado desde hace años como uno de los medios más usados tanto para la mejora del rendimiento físico como por su importancia a la hora de prevenir lesiones en el ámbito deportivo. Además, poco a poco se han ido estudiando los efectos que este tipo de entrenamiento puede tener a la hora de mejorar la salud y la calidad de vida de personas sanas o con algunas enfermedades crónicas (Madzima, Ormsbee, Schleicher, Moffatt, & Panton, 2017; Pesta, Goncalves, Madiraju, Strasser, & Sparks, 2017)

En este ámbito de conocimiento, nos encontramos en la literatura científica con varias propuestas a la hora de realizar una programación que mejore dicha capacidad, con variables que van desde la selección y el orden de una serie de ejercicios hasta la intensidad, el volumen, la frecuencia o el descanso de cada serie, sesión o ciclo de entrenamiento (Fleck & Kraemer, 1997; Fry, 2004; Gonzalez-Badillo & Sanchez-Medina, 2010)

Si nos centramos en el ámbito del deporte de competición, nos encontramos con una extensa variedad de estudios que proponen varios programas de entrenamiento de fuerza y analizan cómo esta capacidad influye de manera positiva en la mejora del rendimiento deportivo. Así, se ha demostrado que aumentar la fuerza máxima a través del entrenamiento tiene un impacto significativo en el rendimiento físico (Gorostiaga et al., 2004; Wilson, Newton, Murphy, & Humphries, 1993; Wisloff, Castagna, Helgerud, Jones, & Hoff, 2004).

Si analizamos estas propuestas, parece estar bastante claro que para la mejora de la fuerza de los miembros inferiores el ejercicio más usado es la sentadilla, tanto en su rango completo de movimiento, como realizándola hasta la mitad o a $\frac{1}{4}$ de la máxima extensión (Hartmann, Wirth, & Klusemann, 2013; Hartmann et al., 2012). Sin embargo, en la mayoría de estos estudios se realizan protocolos de entrenamiento con cargas altas y con el máximo número de repeticiones posible, utilizando el método de las XRM (6RM, 8RM, 10RM o 12RM) como principal variable para la programación del entrenamiento (Delorme, 1945; W. J. Kraemer & Ratamess, 2004; Ratamess et al., 2007), sin una medición precisa sobre el grado de esfuerzo que supone cada carga para cada deportista.

Por otro lado, desde el año 1991 en su libro “Halterofilia”, el profesor Juan José González-Badillo proponía que *si pudiéramos medir la velocidad máxima de los movimientos cada día y con información inmediata, éste sería posiblemente el mejor punto de referencia para saber si el peso es adecuado o no* (González-Badillo, 1991). Más recientemente, han surgido diferentes investigaciones en las que se cuantifica y analiza la carga de entrenamiento a través de la velocidad de ejecución, es decir, de la velocidad a la que un sujeto es capaz de mover cada carga (Gonzalez-Badillo & Sanchez-Medina, 2010; Sánchez-Medina, Pallares, Perez, Morán-Navarro, & González-Badillo, 2017; Sanchez-Medina, Gonzalez-Badillo, Perez, & Pallares, 2014). Esta propuesta de metodología permitiría conocer en tiempo real una de las variables más relevantes a la hora de definir la carga de entrenamiento, como es la intensidad (Gonzalez-Badillo, Marques, & Sanchez-Medina, 2011). La relación casi perfecta observada entre la intensidad (%1RM) y la velocidad de ejecución han permitido conocer con mayor precisión el grado de esfuerzo, entendido como porcentaje de 1RM, que una carga absoluta representa (Gonzalez-Badillo & Sanchez-Medina, 2010; Sánchez-Medina et al., 2017). El conocimiento de la intensidad permitiría avanzar en una problemática que permanece sin resolver en el ámbito del entrenamiento deportivo, como es: ¿cuál sería el mínimo estímulo que produce mejoras en el rendimiento?

Por otro lado, otra variable relevante a tener en cuenta a la hora de definir la carga de entrenamiento es el carácter del esfuerzo (González-Badillo & Gorostiaga, 1993; González-Badillo & Gorostiaga, 1995; González-Badillo & Ribas-Serna, 2002). El carácter del esfuerzo es definido inicialmente como la relación entre las repeticiones realizadas en una serie con respecto al máximo número de repeticiones posibles ante una carga determinada (Gonzalez-Badillo & Sanchez-Medina, 2010; González-Badillo & Gorostiaga, 1993; González-Badillo & Gorostiaga, 1995; González-Badillo & Ribas-Serna, 2002) . La solución tradicional para controlar el carácter del esfuerzo ha sido medir de manera directa cuál es el número máximo de repeticiones posibles ante una carga (Delorme, 1945). Sin embargo, parece ser que esta solución plantea numerosos inconvenientes relacionados con la alta fatiga producida tras la realización de esfuerzos hasta el fallo muscular (Pareja-Blanco, Rodriguez-Rosell, Sanchez-Medina, Sanchis-Moysi, et al., 2016). Esta problemática ha sido centro de interés para los entrenadores e investigadores en el entrenamiento de fuerza durante las últimas décadas. Ya en 1991, el profesor Juan José González Badillo, indicaba en uno de sus primeros libros que *un*

descenso determinado de la velocidad es un indicador válido para suspender el entrenamiento o bajar el peso de la barra (González-Badillo, 1991). La reciente aparición de tecnologías que permiten controlar la velocidad alcanzada en cada repetición durante una sesión de entrenamiento ha posibilitado contrastar la hipótesis de que la pérdida de velocidad producida dentro de la serie es un indicador válida para cuantificar la fatiga mecánica y fisiológica producida en el entrenamiento de fuerza (Sanchez-Medina & Gonzalez-Badillo, 2011).

De este modo, el control de la velocidad de ejecución durante el entrenamiento de fuerza ha dado lugar a un nuevo enfoque en el control y dosificación de la carga, el cual es denominado *entrenamiento de fuerza basado en la velocidad* o *velocity based resistance training*. La presente Tesis Doctoral tiene como base dicha metodología de entrenamiento, donde el control de la carga de entrenamiento se realiza de manera diaria en cada repetición a través de la velocidad de ejecución, tratando además de resolver una de las cuestiones planteadas previamente, como es el análisis del efecto producido por la aplicación de diferentes intensidades en el entrenamiento de fuerza. De esta forma, nos planteamos la realización de 3 estudios.

En el primer estudio se pretenderá comparar los efectos de la aplicación de dos tipos de entrenamiento de fuerza sobre el rendimiento físico, en el que uno de los grupos entrenará con cargas moderadas o bajas, con intensidades que irán desde el 40 al 60% de 1RM, y el otro con cargas altas, con intensidades que irán desde el 70 al 90% de 1RM, o lo que es lo mismo, un grupo que entrenará con velocidades comprendidas entre $1.28 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ y $1.00 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, y otro que entrenará con velocidades comprendidas entre $0.84 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ y $0.51 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ en el ejercicio de sentadilla completa (Sánchez-Medina et al., 2017), donde el volumen de entrenamiento (repeticiones totales) será el mismo para ambos grupos, contabilizándose las repeticiones tanto de calentamiento como de entrenamiento. Además, cada día se medirá la capacidad de salto vertical antes del entrenamiento, así como la velocidad media propulsiva de cada repetición, por lo que todos los sujetos podrán cumplir en cada sesión con el grado de esfuerzo propuesto, siendo este el mismo que el grado real.

En el segundo de los estudios que se realizarán en esta tesis doctoral se repetirá la misma metodología del primer estudio con la inclusión de otros sujetos distintos, manteniéndose las intensidades y el volumen de entrenamiento, pero añadiendo al

mismo las variables de pérdida de altura en el salto vertical tras cada sesión, conociendo así otra variable más de fatiga producida por el entrenamiento en cada rango de velocidad. Además, en este estudio se recogerán muestras de algunas hormonas sanguíneas (testosterona, cortisol, hormona del crecimiento (GH) y somatomedina-C (IGF-1)) antes del inicio del programa de entrenamiento y después de la realización del mismo, con el objetivo de conocer el efecto crónico que cada tipo de entrenamiento podría tener sobre la respuesta hormonal.

Por último, en el tercer estudio, se juntarán todos los sujetos de los dos estudios anteriores y se dividirán en cuatro grupos en función de sus niveles de rendimiento inicial, tomando como referencia para encuadrarlos en un grupo u otro sus valores de fuerza máxima en el ejercicio de sentadilla completa con respecto al peso corporal, por lo que el principal objetivo de este estudio será comprobar si existe una interacción entre las variables de carga de entrenamiento y nivel de rendimiento inicial.

2. Origen de la Problemática Objeto de Estudio

El efecto del entrenamiento de fuerza depende de la manipulación de una serie de variables, las cuales conforman la carga de entrenamiento, y ayudan a comprender los mecanismos fisiológicos en los que se basan estos efectos inducidos por el entrenamiento (Crewther, Cronin, & Keogh, 2005; Fleck & Kraemer, 1997; Sanchez-Medina & Gonzalez-Badillo, 2011). Dichas variables son volumen, intensidad, tiempo de recuperación, número y tipo de ejercicios, velocidad de ejecución y frecuencia de entrenamiento, que deben ser modificadas en función de las necesidades de fuerza de cada modalidad deportiva. Estas necesidades de fuerza vienen determinadas por el tiempo del que dispone el sujeto para aplicar fuerza en su gesto específico de competición (González-Badillo & Gorostiaga, 1995; González-Badillo & Ribas-Serna, 2002; W. J. Kraemer & Ratamess, 2004).

De todas estas variables, la intensidad se ha considerado como una de las más importantes en la programación del entrenamiento de fuerza, y debe ser entendida como el grado de esfuerzo que cada carga supone para un sujeto (González-Badillo & Sánchez-Medina, 2010). Por otro lado, la información de la intensidad debe ir acompañada siempre por el volumen de entrenamiento, existiendo la posibilidad de manipular el número de repeticiones realizado dentro de una serie con respecto al número máximo de repeticiones que se pueden hacer con cada carga. Parece razonable entonces que el grado o nivel de esfuerzo (carácter del esfuerzo) es diferente cuando se realizan 8 repeticiones de 12 posibles con una carga dada (8(12)) comparado con realizar todas las repeticiones posibles para esa misma carga (12(12)) (Gonzalez-Badillo et al., 2011; Sanchez-Medina & Gonzalez-Badillo, 2011). De este modo, cada vez es mayor el número de estudios que sugieren que alcanzar el fallo muscular no es la mejor opción para maximizar las ganancias de fuerza (Folland et al., 2002; Izquierdo et al., 2006; Davies et al., 2016; Pareja-Blanco et al., 2016a).

Tradicionalmente, tomando como referencia la intensidad, las cargas de entrenamiento se han clasificado en: (1) el entrenamiento con cargas altas ($\geq 70\%$ 1RM), caracterizado por una velocidad de desplazamiento baja y una alta fuerza aplicada (Jones, Bishop, Hunter, & Fleisig, 2001) y (2) el entrenamiento con cargas moderadas o bajas ($< 70\%$ 1RM), caracterizado por una mayor velocidad de desplazamiento y una menor fuerza

aplicada (Harris, Stone, O'Bryant, Proulx & Johnson, 2000; Smilios, Sotiropoulos, Christou, Douda et al., 2011).

A pesar de la relevancia que parece tener la variable “intensidad” en los efectos producidos por el entrenamiento de fuerza, no existe un consenso en la literatura científica sobre cuál es la intensidad más apropiada para maximizar las mejoras en el rendimiento físico (Hermassi, Chelly, Fathloun, & Shephard, 2010; Saez de Villarreal, Requena, Izquierdo, & Gonzalez-Badillo, 2012; Schoenfeld, Wilson, Lowery, & Krieger, 2016). Así, el entrenamiento con cargas superiores al 70% 1RM han producido mejoras tanto en la hipertrofia como en la fuerza máxima (1RM) y en la fuerza isométrica máxima (FIM) (Bird, Tarpenning, & Marino, 2005; Campos et al., 2002; Fry, 2004; Izquierdo et al., 2006b; W. J. Kraemer et al., 2002; Hakkinen, Alen, & Komi, 1985; McDonagh & Davies, 1984; Thorstensson, Karlsson, Viitasalo, Luhtanen, & Komi, 1976).

Por otro lado, otras investigaciones contradicen los resultados obtenidos por los estudios citados anteriormente y ponen en duda el efecto positivo del entrenamiento con cargas altas para la mejora del rendimiento, principalmente en acciones realizadas a alta velocidad (D. Baker, Nance, & Moore, 2001; Cronin & Sleivert, 2005; N. Harris, Cronin, & Keogh, 2007; Izquierdo, Hakkinen, Gonzalez-Badillo, Ibanez, & Gorostiaga, 2002; Kawamori & Haff, 2004). Así, también se ha observado que la aplicación de cargas moderadas (40-60% 1RM) resulta en una mayor aceleración y velocidad en el movimiento, produciendo mejoras sobre el rendimiento físico en deportes como el fútbol (Gonzalez-Badillo et al., 2015; Gorostiaga et al., 2004) y otras especialidades deportivas (Wilson et al., 1993). De este modo, se ha mostrado que la realización de un programa de entrenamiento con cargas moderadas (40-60 %1RM), en el que se realiza cada repetición a la máxima velocidad posible, produce mejoras relacionadas con la fuerza dinámica máxima, el salto vertical y el sprint (de Hoyo et al., 2016; Franco-Marquez et al., 2015; Gonzalez-Badillo et al., 2015).

En relación al estado inicial de los sujetos, existen estudios en los que se ha observado una mejora de la fuerza tanto con población desentrenada (Campos et al., 2002; Wilson et al., 1993) como con sujetos con experiencia previa en el entrenamiento de fuerza (Pareja-Blanco, Rodriguez-Rosell, Sanchez-Medina, Gorostiaga, & Gonzalez-Badillo, 2014; Gonzalez-Badillo, Rodriguez-Rosell, Sanchez-Medina, Gorostiaga & Pareja-

Blanco, 2014), deportistas de alto nivel (Marques & Gonzalez-Badillo, 2006; Ronnestad, Kvamme, Sunde, & Raastad, 2008) o personas de tercera edad (Bottaro, Machado, Nogueira, Scales & Veloso, 2007; Van Roie, Delecluse, Coudyzer, Boonen & Bautmans, 2013; Watanabe, Tanimoto, Oba, Sanada, Miyachi & Ishii, 2015). En torno a esta cuestión, algunos autores sugieren que aquellos sujetos desentrenados o con niveles previos de fuerza más bajos experimentarían de un modo más fácil la mejora en la fuerza muscular inducida por el entrenamiento (Wilson, et al., 1993), en cambio aquellos más entrenados o con experiencia previa en el entrenamiento requerirían de programas más específicos para la mejora de la fuerza (Hakkinen, Komi, Alen, & Kauhanen, 1987). Sin embargo, a la hora de tratar la carga de entrenamiento, algunos estudios parecen recomendar el empleo de cargas más bajas para sujetos principiantes y el empleo de cargas más altas para los sujetos con una mayor experiencia en el entrenamiento de fuerza (W. J. Kraemer & Ratamess, 2004), aunque estos protocolos son en su mayoría llevados hasta el fallo muscular, es decir, sea cual sea el nivel de rendimiento inicial se debería entrenar con un carácter del esfuerzo máximo, sin llegar a pensar en la posibilidad de entrenar con intensidades distintas y un reducido número de repeticiones por serie en base tanto a las necesidades como al nivel de rendimiento de los sujetos.

Ante este déficit de conocimiento en torno a esta interesante cuestión, parece necesaria la realización de uno o varios estudios que proporcionen información acerca del efecto producido por la utilización de diferentes intensidades en el entrenamiento de fuerza y la interacción de estas intensidades con el nivel inicial de rendimiento del deportista.

3. Estado Actual de Conocimiento

3.1 Definición de la intensidad y formas de expresarla

Para obtener una precisa definición del estímulo que representa un entrenamiento de fuerza se hace necesario describir una serie de variables entre las que destacan, una vez elegidos los ejercicios, la intensidad y el volumen. De estas dos, es posible que la intensidad sea la variable más importante, ya que es la que determina el máximo número de repeticiones que se pueden realizar con una carga dada (González-Badillo et al. 2011), por lo que su conocimiento cobra un papel fundamental en la programación del entrenamiento de fuerza. Sin embargo, uno de los principales problemas que nos encontramos en la literatura científica es la definición de la intensidad o carga de entrenamiento.

Tradicionalmente, la intensidad en el entrenamiento de fuerza se ha definido como el porcentaje de la fuerza máxima (%1RM) usado para un ejercicio en particular (Fry, 1999; Fleck & Kraemer, 1996; Stone & O'Bryant, 1987), refiriéndose a ella como la intensidad relativa en base a la capacidad de aplicación de fuerza de cada sujeto en cuestión, siendo una solución conveniente para prescribir entrenamientos relativamente similares para personas con diferentes capacidades de fuerza (Fry, 2004) donde bastaría con hacer un cálculo aritmético del máximo peso levantado (1RM) para obtener la intensidad relativa a la que queremos entrenar. Sin embargo, la medición directa de 1RM no sería práctico en grandes grupos de deportistas por necesitar una mayor disponibilidad de tiempo para su medida, pero el gran inconveniente de utilizar este método sería el aumento del riesgo de lesión si la ejecución del ejercicio no es correcta o si los sujetos tienen poca experiencia en el entrenamiento de fuerza. Por otro lado, el valor de 1RM podría verse modificado tras algunas sesiones debido al propio efecto del entrenamiento, lo cual conllevaría un error en la programación, además de poner en duda que esa carga considerada como la de 1RM lo sea realmente (González-Badillo & Gorostiaga, 1993), problema al que se le encontraría solución si midiésemos la velocidad de ejecución, pues se ha observado que la velocidad máxima de ejecución en la primera repetición de una serie ante cualquier carga es un predictor muy preciso de 1RM (Gonzalez-Badillo & Sanchez-Medina, 2010; Sánchez-Medina et al., 2017; Sanchez-Medina et al., 2014; Sanchez-Moreno, Rodriguez-Rosell, Pareja-Blanco, Mora-Custodio, & Gonzalez-Badillo, 2017).

Otro de los métodos propuestos para expresar la intensidad en el entrenamiento de fuerza ha sido la realización de un número máximo de repeticiones por serie, método más conocido como el de las XRM (5RM, 10RM, 15RM...), basado en el máximo peso que un sujeto es capaz de levantar un número determinado de veces (Delorme, 1945), lo que se supone que produciría un efecto diferente en el organismo en función del número máximo de repeticiones realizado (Kraemer & Ratamess, 2004; Fry, 2004). Así, esto supondría que si podemos hacer un número determinado de repeticiones por serie hasta que ya no podamos más, estaríamos entrenando con un porcentaje determinado de nuestra RM, suponiendo entonces que cada porcentaje del máximo tiene un número determinado de repeticiones máximas (González-Badillo & Gorostiaga, 1993), pero, como se ha comprobado recientemente, el rango de repeticiones posible para un mismo porcentaje es bastante diferente entre sujetos (Gonzalez-Badillo, Yanez-Garcia, Mora-Custodio, & Rodriguez-Rosell, 2017).

Por último, algunos autores han considerado que la mejor manera para definir la intensidad del entrenamiento es considerarla como la expresión de un esfuerzo, es decir, como el grado de esfuerzo que cada carga le supone a un sujeto, y no como un simple cálculo aritmético (González-Badillo & Gorostiaga, 1993; González-Badillo & Gorostiaga, 1995; González-Badillo & Sánchez-Medina, 2010; González-Badillo et al., 2011). En este sentido sería muy importante señalar si en cada esfuerzo programado se realizan el máximo número de repeticiones posibles o si, por el contrario, se dejan algunas repeticiones por hacer dentro de cada serie. Esta información es fundamental para categorizar la carga de entrenamiento en un tipo de esfuerzo u otro, y definiría el carácter del esfuerzo (CE) como la relación entre las repeticiones realizadas en una serie y las realizables, es decir, entre las repeticiones realizadas y el máximo número de repeticiones que esa carga permite realizar (González-Badillo & Gorostiaga, 1993; González-Badillo & Sanchez-Medina, 2010; González-Badillo et al., 2011). Ante esta propuesta parece razonable pensar que el grado de esfuerzo, y el consiguiente efecto que tendría el entrenamiento, sería diferente si dentro de una serie se realizan 6 repeticiones con una carga que permite realizar 10 como máximo [6(10)] con respecto a otra carga que permita realizar un número de repeticiones mayor, 18, por ejemplo [6(18)]. Esta novedosa forma de entender la intensidad y la carga de entrenamiento empieza a tener relevancia ante la publicación de numerosos estudios que sugieren que el entrenamiento de fuerza no tiene porqué realizarse hasta el fallo muscular, o con un carácter del

esfuerzo máximo, para conseguir los mejores efectos sobre el rendimiento deportivo (de Hoyo et al., 2016; Gonzalez-Badillo et al., 2015; Izquierdo et al., 2006a; Pareja-Blanco, Rodriguez-Rosell, Sanchez-Medina, Ribas-Serna, et al., 2016; Sanchez-Medina & Gonzalez-Badillo, 2011).

En estos casos la intensidad se ha medido a través de la velocidad de ejecución, dado que se ha confirmado que cada porcentaje de la RM tiene su propia velocidad en diferentes ejercicios (Gonzalez-Badillo & Sanchez-Medina, 2010; Sánchez-Medina et al., 2017; Sanchez-Medina et al., 2014; Sanchez-Moreno et al., 2017), poniendo solución a uno de los mayores problemas a la hora de programar la carga de entrenamiento. Esta temática será descrita de manera detallada en el siguiente apartado.

3.2 Entrenamiento de fuerza basado en la velocidad de ejecución

Desde que en el año 1991, el profesor Juan José González Badillo destacaba en su libro *Halterofilia* que, *si pudiéramos medir la velocidad máxima de los movimientos cada día y con información inmediata, éste sería posiblemente el mejor punto de referencia para saber si el peso es adecuado o no*, ha empezado a cobrar especial interés la búsqueda de una serie de dispositivos que ayudasen a los entrenadores a controlar el entrenamiento de fuerza a través de esta variable (Gonzalez-Badillo et al., 2011; Gonzalez-Badillo & Sanchez-Medina, 2010; Jidovtseff, Harris, Crielaard, & Cronin, 2011). Tanto es así, que actualmente existen publicaciones científicas que relacionan el esfuerzo realizado, expresado como porcentaje de 1RM, con la velocidad a la que dicha carga puede desplazarse en ejercicios como el press banca (Gonzalez-Badillo & Sanchez-Medina, 2010), el remo tumbado (Sanchez-Medina et al., 2014), las dominadas (Sanchez-Moreno et al., 2017) y la sentadilla completa (Conceicao, Fernandes, Lewis, Gonzalez-Badillo, & Jimenez-Reyes, 2016; Pallares, Sanchez-Medina, Perez, De La Cruz-Sanchez, & Mora-Rodriguez, 2014; Sánchez-Medina et al., 2017). De esta manera, los resultados de estos estudios evitarían la necesidad de realizar un test hasta la máxima carga que un sujeto puede desplazar, evitando así todos los inconvenientes que conlleva tanto la medición directa de la carga de 1RM como la carga correspondiente a XRM determinadas que se han citado en el apartado anterior.

Estas investigaciones sugieren, por lo tanto, que la velocidad alcanzada en cada repetición podría ser la mejor referencia para estimar el grado de esfuerzo real que cada

carga supone para cada deportista (Gonzalez-Badillo & Sanchez-Medina, 2010). Estos resultados son de especial interés a la hora de programar el entrenamiento en función de la velocidad, pues hay que tener en cuenta que la misma velocidad de ejecución no supone el mismo grado de esfuerzo en todos los ejercicios. Así, se ha observado que, por ejemplo, el esfuerzo que supone una carga del 70% de 1RM no se desplaza a la misma velocidad en el ejercicio de press banca (~0.64 m/s) que en el ejercicio de sentadilla completa (~0.85 m/s), y esto es debido a que la velocidad de 1RM para cada ejercicio es completamente diferente (~0.20 m/s para el press banca y ~0.30 m/s para la sentadilla completa) (Gonzalez-Badillo & Sanchez-Medina, 2010; Sánchez-Medina et al., 2017).

Por otro lado, también se ha observado que tratar de alcanzar la máxima velocidad de ejecución posible en cada repetición ante las mismas cargas relativas produce mejores efectos que hacerlo a la mitad de dicha velocidad máxima (Gonzalez-Badillo, Rodriguez-Rosell, Sanchez-Medina, Gorostiaga, & Pareja-Blanco, 2014; Pareja-Blanco et al., 2014). Por tanto, el control de la velocidad como referencia para la dosificación y control del entrenamiento se viene mostrando como un hallazgo muy importante en su aplicación práctica para la prescripción y el control de la carga de entrenamiento (Gonzalez-Badillo et al., 2011; González-Badillo, 1991; Sanchez-Medina & Gonzalez-Badillo, 2011), por lo que este tipo de entrenamiento de fuerza basado en la velocidad o *velocity-based resistance training* (VBRT) está despertando especial interés en los últimos años tanto para el control de la carga de entrenamiento (de Hoyo et al., 2016; Franco-Marquez et al., 2015; Gonzalez-Badillo et al., 2015; Gonzalez-Badillo et al., 2014; Pareja-Blanco et al., 2014) como para el control y la cuantificación de la fatiga neuromuscular (Pareja-Blanco, Rodriguez-Rosell, Sanchez-Medina, Sanchis-Moysi, et al., 2016; Pareja-Blanco, Sanchez-Medina, Suarez-Arrones, & Gonzalez-Badillo, 2016; Sanchez-Medina & Gonzalez-Badillo, 2011).

En lo referente al control del entrenamiento basado en la velocidad de ejecución, la principal ventaja que nos proporciona este método de entrenamiento es que nos permite conocer con una precisión notable con qué carga (grado de esfuerzo) está entrenando el sujeto y qué efecto está produciendo el entrenamiento a lo largo del ciclo de entrenamiento. El conocimiento del grado de esfuerzo que significa una carga absoluta determinada permite modificar la carga propuesta, en este caso los kilogramos que

debería mover en una sesión de entrenamiento, para no modificar la carga real programada (grado de esfuerzo programado), el cual vendría determinado por la velocidad a la que estaba programado ese entrenamiento. Este es un avance muy importante a la hora de realizar la programación, pues nos da información permanente sobre el estado de rendimiento en el que se encuentra el deportista y de la carga (grado de esfuerzo) que lo ha provocado. Así, son varios los estudios en los que se ha utilizado la velocidad como referencia para la dosificación y control de la carga de entrenamiento, así como en algunos casos, para la propia evaluación del efecto del entrenamiento tanto en sujetos con experiencia previa (Gonzalez-Badillo et al., 2014; Pareja-Blanco et al., 2014) como en jugadores de fútbol (de Hoyo et al., 2016; Franco-Marquez et al., 2015; Gonzalez-Badillo et al., 2015; Pareja-Blanco, Sanchez-Medina, et al., 2016).

En base al control y la cuantificación de la fatiga neuromuscular, siempre y cuando cada repetición se realice con el máximo esfuerzo voluntario, la velocidad dentro de la serie desciende a medida que aumenta la fatiga (Gonzalez-Badillo et al., 2011). En este sentido los resultados de los estudios muestran los diferentes efectos que producen sobre el rendimiento físico la aplicación de un determinado porcentaje de pérdida de velocidad en la serie cuando se desplaza una carga con la máxima intención en alcanzar la máxima velocidad que nos permite dicha carga. Así, nos encontramos estudios que comparan el efecto de realizar más o menos repeticiones ante una misma carga relativa, donde se puede comprobar que la realización de un mayor número de repeticiones sin llegar al fallo muscular no da precisamente los mejores resultados en jugadores de fútbol profesional (Pareja-Blanco, Sanchez-Medina, et al., 2016). Siguiendo esta línea, en otro estudio llevado a cabo por estos investigadores en los que se compararon los efectos de la aplicación de dos diferentes pérdidas de velocidad ante la misma carga relativa sobre el rendimiento físico y la estructura muscular, se concluyó que el grupo que realizaba menos repeticiones, por lo tanto entrenaba con una pérdida de velocidad en la serie menor, obtuvo una mejora en el salto vertical (CMJ) en relación al grupo que entrenó con una pérdida mayor. Además, la mejora en la fuerza máxima (1RM) y en el área de sección cruzada (CSA) aumentó significativamente en ambos grupos, por lo que una pérdida mayor en el entrenamiento no conllevó necesariamente los mejores resultados. Por otro lado, cabe destacar que el porcentaje de fibras IIX se mantuvo estable en el grupo de menor pérdida, reduciéndose este en el grupo que entrenaba con

una fatiga mayor (Pareja-Blanco, Rodriguez-Rosell, Sanchez-Medina, Sanchis-Moysi, et al., 2016).

Por último, otra de las controversias que nos encontramos en la literatura a la hora de realizar la programación del entrenamiento de fuerza es la velocidad a la que debe ejecutarse cada repetición del entrenamiento. Esta variable ha recibido especial atención en los últimos años ya que puede ser fácilmente manipulada para la mejora de la fuerza dinámica. Sin embargo, no parece estar claro si ejecutar cada repetición de entrenamiento rápido o lento influye en la mejora de la fuerza dinámica (Davies, Kuang, Orr, Halaki, & Hackett, 2017). Así, existen estudios que encuentran mejoras similares en la fuerza dinámica usando tanto velocidades de contracción rápidas como moderadas o lentas cuando se combinan las intensidades de entrenamiento (Young, & Bilby, 1993). Por otro lado, algunos estudios concluyen que el entrenamiento de fuerza realizado a la máxima velocidad, es decir, con la máxima intención en alcanzar la máxima velocidad que permite cada carga, ofrece mayores efectos sobre la mejora de la fuerza y el salto vertical cuando se compara con el entrenamiento realizado a una velocidad lenta ante la misma carga relativa tanto en el ejercicio de sentadilla (Pareja-Blanco et al., 2014) como en el press banca (Gonzalez-Badillo et al., 2014).

3.3 Efectos que produce la aplicación de distintas intensidades de entrenamiento sobre el rendimiento físico

Los diferentes efectos y adaptaciones musculares que se producen tras la aplicación de un programa de entrenamiento de fuerza varían en función del rango de intensidad y del volumen realizado en cada ciclo de entrenamiento. En este sentido, tomando como referencia la intensidad, algunos autores han clasificado el entrenamiento de fuerza tradicionalmente en: (1) entrenamiento con cargas altas ($\geq 70\%$ 1RM), caracterizado por una velocidad de desplazamiento baja y una alta fuerza aplicada (Harris et al., 2000; Jones et al., 2001) y (2) entrenamiento con cargas moderadas o bajas ($< 70\%$ 1RM), que resulta en una mayor velocidad de desplazamiento y una fuerza aplicada menor (Harris et al., 2000; Smilios et al., 2011). Más recientemente, algunos autores han considerado el entrenamiento de cargas altas aquellos en los que la intensidad es $\geq 65\%$ de 1RM, considerando el entrenamiento de cargas bajas como aquel en el que la intensidad es $\leq 60\%$ de 1RM (Schoenfeld et al., 2016). Sin embargo, aunque existe una diferencia clara entre los distintos rangos de intensidad de entrenamiento, la propuesta más

frecuente que nos encontramos en la literatura a la hora de hablar del volumen con cada carga es la de XRM. Es decir, en la mayoría de los estudios en los que se realiza un entrenamiento con carga alta o baja, o incluso en la mayoría de los estudios en los que se comparan los efectos del entrenamiento de cargas altas y bajas sobre el rendimiento, se entrena con el número máximo de repeticiones por serie que esa carga seleccionada permitía realizar, es decir, con un carácter del esfuerzo máximo.

En lo que se refiere al entrenamiento con cargas altas, parece ser que las intensidades en torno al 70% de 1RM están más relacionadas con la mejora de la fuerza a través del factor estructural o hipertrofia, ya que se ha observado que la aplicación de este tipo de entrenamiento produce un cambio mayor en la arquitectura del músculo con un aumento de la sección transversal (CSA) (W. J. Kraemer et al., 2002), del ángulo de pennación (Aagaard et al., 2001; Kawakami, Abe, Kuno, & Fukunaga, 1995), de la transición en las MHC (Putman, Xu, Gillies, MacLean, & Bell, 2004) y de la hipertrofia selectiva de las fibras tipo II (Aagaard et al., 2001; Adams & Bamman, 2012; Kosek, Kim, Petrella, Cross, & Bamman, 2006), por lo que el entrenamiento de fuerza con estas cargas podría ofrecer un mayor efecto en el aumento de la masa y la función muscular (Holm et al., 2008; W. J. Kraemer & Ratamess, 2004). Sin embargo, en oposición con estos hallazgos, empiezan a verse algunos estudios en los que se sugiere que un entrenamiento con cargas bajas puede producir efectos similares a los que producen las cargas altas sobre la hipertrofia, siempre y cuando el número de repeticiones en el entrenamiento sea el máximo (Burd, Moore, Mitchell, & Phillips, 2013), aunque parece que el nivel de reclutamiento de unidades motoras con estas cargas no es el mismo que el alcanzado con el entrenamiento de cargas más altas (Akima & Saito, 2013; Cook, Murphy, & Labarbera, 2013; Schoenfeld, Contreras, Willardson, Fontana, & Tiriyaki-Sonmez, 2014). Por otro lado, un rango más elevado de intensidades ($\geq 85\%$ 1RM) supondría una mejora de la fuerza máxima gracias a un mayor efecto neural, posiblemente debido a un mayor reclutamiento de las unidades motoras (W. J. Kraemer & Ratamess, 2004), así como a una mayor frecuencia de estímulo, coordinación intermuscular (Crewther et al., 2005; Hakkinen, Alen, et al., 1985; W. J. Kraemer et al., 2002; McBride, Triplett-McBride, Davie, & Newton, 2002; Sale, 2003) y a la propia especificidad de la carga de entrenamiento (Campos et al., 2002), ofreciendo como resultado una mejora en la relación fuerza-velocidad que supondría una mayor aplicación de fuerza para cualquier velocidad de acortamiento (Kaneko, Fuchimoto,

Toji & Suei, 1983). Además, la aplicación de programas de entrenamiento de estas características, en los que la evolución de la carga se hace de manera progresiva, ha mostrado una mejora tanto de la capacidad de sprint en 10 y 40 metros (Helgerud, Kemi, & Hoff, 2002) como en el salto vertical (Izquierdo et al., 2006a). Sin embargo, llama la atención que en todos los estudios mencionados, excepto en el estudio de Izquierdo et al. (2006), se entrenara con un carácter del esfuerzo máximo, llegando en cada serie al número máximo de repeticiones posible que esa carga permite realizar.

En líneas generales, la superioridad de este tipo de entrenamiento se ha atribuido a: (1) una mejora de la hipertrofia que conllevaría una mayor masa muscular implicada (W. J. Kraemer et al., 2002), (2) al reclutamiento de las unidades motoras más rápidas con un alto umbral de excitación en el desarrollo de fuerza para superar cargas pesadas (Gollinick, Armstrong, Sembrowich, Shepherd & Saltin, 1973; Thorstensson, Hulten, von Döbeln, & Karlsson, 1976), y (3) al entrenamiento de carácter neural asociado a la mayor activación de las neuronas motoras de alta frecuencia de disparo para las contracciones con un tiempo de activación prolongado (Tidow, 1990; Schmidtbleicher, 1992; Young, 1989). El entrenamiento con cargas altas puede aumentar, por lo tanto, la velocidad máxima y la potencia mediante estos tres mecanismos, ya que las fibras tipo II tienen un papel determinante en la fuerza y en la potencia asociadas a acciones dinámicas como sprints, saltos y movimientos olímpicos. Sin embargo, previamente se ha mostrado como desplazar una carga a alta velocidad puede disminuir el umbral necesario para activar unidades motoras que reclutan fibras tipo II (Desmedt & Godaux, 1977). Además, al desplazar una misma carga relativa a la máxima velocidad posible, se estarán obteniendo los mayores beneficios sobre el rendimiento físico que dicha carga podría proporcionar (Behm & Sale, 1993; Gonzalez-Badillo et al., 2014).

Por otro lado, el efecto que produciría el entrenamiento con cargas bajas sobre la mejora de la fuerza máxima ha sido poco investigado en comparación con las cargas más elevadas, aunque estos estudios están cobrando especial atención entre la comunidad científica en los últimos años, ya que la aplicación de esta serie de intensidades conllevaría un esfuerzo mucho menor en nuestros deportistas y podría producir mejoras en el rendimiento físico sin la necesidad de entrenar con cargas más altas. En este sentido nos encontramos con una falta de consenso en los resultados, pues algunos estudios realizados con cargas moderadas o bajas (<60% 1RM) parecen no haber

encontrado efectos positivos en la mejora de la fuerza máxima (<60% 1RM) (McDonagh & Davies, 1984), mientras que otros estudios sí han mostrado una mejora de la fuerza máxima con la aplicación de cargas bajas de entrenamiento realizadas a la máxima velocidad tanto en sujetos con experiencia previa en el entrenamiento de fuerza (Moss, Refsnes, Abildgaard, Nicolaysen, & Jensen, 1997) como en jóvenes jugadores de fútbol (Gonzalez-Badillo et al., 2015; Lopez-Segovia, Palao Andres, & Gonzalez-Badillo, 2010; Rodriguez-Rosell, Franco-Marquez, Mora-Custodio, & Gonzalez-Badillo, 2016).

Otra de las ventajas que se ha observado de la aplicación de este tipo de entrenamiento es una mayor aceleración y velocidad en el movimiento, ofreciendo una mejor transferencia para las acciones que se producen en deportes como el balonmano el fútbol (de Hoyo et al., 2016; Gonzalez-Badillo et al., 2015; Gorostiaga et al., 2004; Rodriguez-Rosell, Franco-Marquez, Pareja-Blanco, et al., 2016) y otras especialidades deportivas (Wilson et al., 1993). Así, algunos de estos estudios han mostrado que el entrenamiento con cargas bajas, con un control diario de la velocidad de ejecución, un número bajo de repeticiones por serie y un desplazamiento de la carga a la máxima velocidad ofrece una mejora del rendimiento entendido como altura del salto y capacidad de sprint, por lo que seguiría una línea de investigación novedosa donde se justificase que no es necesario ni el entrenamiento con cargas altas alcanzando o sin alcanzar el fallo muscular, ni con cargas menores llegando hasta el fallo muscular si lo que pretendemos es mejorar tanto la fuerza como el rendimiento deportivo.

La justificación por la que algunos autores sugieren que este tipo de entrenamiento con cargas bajas o medias y sin llegar al fallo muscular es superior para la mejora de la fuerza y, por tanto, de la velocidad y de la potencia se debe, en gran medida, a los valores más elevados de RFD que produce este tipo de entrenamiento ante cargas ligeras, lo cual proporcionaría un estímulo superior en la mejora de la coordinación intra- e intermuscular durante los movimientos de alta velocidad (Haff, Stone, O'Bryant, Harman, Dinan et al., 1997; Häkkinen, 1994; Schmidtbleicher, D, 1992; Stone, 1990), y una activación selectiva de las fibras de contracción rápida (Ewing, Wolfe, Rogers, Amundson, & Stull, 1990; Nardone, Romano, & Schieppati, 1989; Sale, 1992). Estos efectos estarían relacionados principalmente con un factor de tipo neural, dado que el entrenamiento con cargas ligeras y un número de repeticiones moderado no

parece tener una influencia notable sobre la masa muscular, (Friedmann et al., 2003; Jackson, Dickinson, & Ringel, 1990; Takarada, Tsuruta, & Ishii, 2004).

En lo referente a los estudios que comparan los efectos del entrenamiento de fuerza con varias intensidades, nos encontramos con cierta disparidad en los resultados. Así, en un estudio en el que se compararon los efectos del entrenamiento de fuerza en tres rangos de intensidades (entrenamiento con un número bajo de repeticiones (LR) en el que se realizaban 3-5RM, entrenamiento con un número intermedio de repeticiones (IR) en el que se realizaban 9-11RM y entrenamiento con un alto número de repeticiones (HR) en el que se realizaban 20-28RM), el grupo de entrenamiento con LR obtuvo una mejora significativa de la fuerza máxima en comparación con los otros tres grupos (IR, HR y el grupo control). Por otro lado, se observó un aumento del número total de repeticiones con la carga del 60% de 1RM en el grupo de HR que, pese a entrenar con una carga baja, realizaba un alto número de repeticiones. En lo referente a la respuesta del entrenamiento sobre la tipología muscular, fueron los grupos de LR e IR los que experimentaron un aumento significativo de la hipertrofia en las fibras tipo I, IIA y IIB, mientras que no se observaron aumentos significativos en el grupo de carga baja ni en el control (Campos et al., 2002). En la misma línea, otro estudio realizado con personas mayores en el que se compararon los efectos de la realización de 8 ejercicios con 3 rangos de intensidad diferentes (15RM, 9RM y 11RM) sobre la mejora de la fuerza durante 18 semanas de entrenamiento, se concluyó que en la sexta semana de entrenamiento tanto el grupo que realizó 3 series de 9RM como el que realizó 4 series de 6RM mejoró su fuerza con respecto al grupo control, mientras que a partir de la semana 12 de entrenamiento el grupo que realizó 15RM también obtuvo diferencias significativas en la mejora de la fuerza, destacando que no hubo diferencias significativas en la fuerza entre los 3 grupos de entrenamiento (C. Harris, DeBeliso, Spitzer-Gibson, & Adams, 2004). Sin embargo, en los entrenamientos realizados en estos dos estudios se alcanzó el fallo muscular en todos sus protocolos de entrenamiento, por lo que sería interesante ver qué pasaría si se comparasen los mismos rangos de intensidades con un volumen más bajo de repeticiones.

Adicionalmente, en otro estudio (Wilson et al., 1993) en el que se compararon los efectos de tres tipos de entrenamiento en el que un grupo entrenó con cargas altas (6-10RM) en el ejercicio de sentadilla, otro con cargas bajas (carga del 30% de la fuerza

isométrica máxima (FIM)) en el ejercicio de salto con carga y un tercero que realizó entrenamiento de tipo pliométrico con el propio peso corporal, se observaron mejoras significativas tras 10 semanas de entrenamiento en los tres grupos tanto en el salto con contramovimiento (CMJ) como en el salto sin contramovimiento (SJ), excepto en el grupo que realizó entrenamiento pliométrico, que no mejoró en el SJ. Cabe destacar que los cambios observados en el grupo que entrenó con la carga del 30% fueron significativamente mayores que los cambios observados en el grupo de carga alta para los dos tipos de salto, aunque estos resultados parecen obvios ya que uno de los grupos entrenó el mismo ejercicio sobre el que se valoró el efecto del entrenamiento, además de comparar dos tipos de entrenamiento diferentes, uno realizado en el ejercicio de sentadilla y otro en el ejercicio de salto con carga.

Por último, en otros dos estudios se compararon los efectos del entrenamiento de fuerza con diferentes intensidades sin llegar al fallo muscular en ningún caso. Así, en el primero de ellos (Moss et al., 1997) compararon los efectos de tres tipos de entrenamiento sobre la fuerza, la potencia y la velocidad angular de los flexores del codo a lo largo de 9 semanas con una frecuencia de 3 sesiones a la semana. Los grupos se dividieron en G90 (entrenamiento con el 90% de 1RM y la realización de 2 repeticiones por serie), G35 (entrenamiento con el 35% de 1RM y la realización de 7 repeticiones por serie) y G15 (entrenamiento con el 15% de 1RM y la realización de 10 repeticiones por serie). En todos los casos las repeticiones se realizaron a la máxima velocidad posible. Los resultados de este estudio mostraron una mejora de la fuerza dinámica máxima (1RM) en todos los grupos de entrenamiento. Sin embargo, en la comparación entre grupos, G90 obtuvo mayores mejoras en comparación con G15, pero no con G35. G90 y G35 mostraron una mejora de la potencia en todas las cargas, mientras que G15 obtuvo mejoras significativas en la potencia con cargas menores del 50%, mientras que con las cargas del 70 y el 90% de 1RM la mejora en los valores de potencia solo se produjo en G90 y G35, no habiendo diferencias significativas entre estos dos grupos. En lo que se refiere a la velocidad angular, todos los grupos obtuvieron una mejora significativa con todas las cargas, excepto G15 que no mejoró la velocidad con las cargas del 70 ni del 90% de 1RM. Los resultados de este estudio sugieren que no es necesario entrenar con cargas altas para la mejora ni de la fuerza máxima ni de la potencia ni de la velocidad angular, pues tanto las cargas bajas del 15%

de 1RM como las cargas del 35% de 1RM mejoran la fuerza dinámica máxima, la potencia y la velocidad con todas las cargas (G35) o con cargas medias o bajas (G15).

En el segundo de los estudios (Mora-Custodio, Rodriguez-Rosell, Pareja-Blanco, Yanez-Garcia, & Gonzalez-Badillo, 2016) se compararon los efectos de dos tipos de entrenamiento de fuerza en el ejercicio de sentadilla completa sobre el rendimiento en el salto vertical, el sprint y la fuerza dinámica máxima en mujeres físicamente activas. Los grupos de entrenamiento se dividieron en: (1) grupo de carga alta, que entrenó con intensidades del 65 al 80% de 1RM y (2) grupo de carga baja, que entrenó con cargas del 40 al 60% de 1RM, donde el volumen se igualó para ambos grupos y en ningún caso se llegó al fallo muscular. Para la correcta programación de las cargas de entrenamiento se midió la velocidad de ejecución en el ejercicio de sentadilla en un test de cargas progresivas, aunque durante cada sesión de entrenamiento estas velocidades no se controlaron. Como resultados principales de esta investigación se observaron mejoras en las variables de fuerza dinámica máxima, salto vertical y capacidad de sprint (10, 10-20 y 20 metros) en ambos grupos de entrenamiento, excepto en el grupo de carga alta, que no mejoró su tiempo en el parcial de 10-20 metros. Aunque no se encontraron diferencias significativas entre los dos grupos experimentales, el grupo de cargas bajas obtuvo un posible efecto beneficioso mayor que el grupo de cargas altas en las variables de tiempo en 10-20 metros y tiempo en 20 metros. Por lo tanto, los resultados de este estudio muestran que el entrenamiento de fuerza con cargas bajas y pocas repeticiones por serie, pero desplazando la carga a la máxima velocidad posible, podría ser una buena opción para la mejora del rendimiento en mujeres frente a otras estrategias de entrenamiento con cargas mayores.

Estos dos estudios muestran un nuevo enfoque en la programación del entrenamiento de fuerza, donde empieza a comprobarse que no es necesario alcanzar el máximo número de repeticiones posible ante una carga dada ni la aplicación de cargas altas para la mejora del rendimiento. Sin embargo, en ninguno de ellos se realizó un control diario de la carga de entrenamiento a través de la velocidad de ejecución, por lo que no se ha podido estimar el grado de esfuerzo real que cada carga le suponía diariamente a cada uno de nuestros deportistas. Por lo tanto, se hace necesaria la realización de otros estudios que comparen los efectos de este tipo de cargas sobre el rendimiento deportivo y que, además, se controle el grado de esfuerzo diario a través de la velocidad, así como

que se cuantifique la fatiga a través de la pérdida de velocidad en la serie para obtener información más precisa acerca del efecto de cada rango de intensidades de entrenamiento.

3.4 Respuesta hormonal al entrenamiento de fuerza

Cuando nos disponemos a realizar la programación de un entrenamiento de fuerza estamos intentando organizar la aplicación de una serie de estímulos con la idea de crear un efecto positivo que nos permita mejorar en aquellas variables que nos hemos marcado previamente como objetivo. Pues bien, dentro de las múltiples reacciones que provoca el estímulo en el organismo está la respuesta metabólica y hormonal aguda, que podría convertirse en crónica si se repite en el tiempo, aunque es poco probable que esto suceda. En función de la manipulación que hagamos en las variables de entrenamiento (intensidad, volumen, tiempo de descanso, tipo de ejercicio, velocidad de ejecución...) tal y como ya hemos explicado previamente, la mejora del rendimiento, además de depender en parte de las adaptaciones indicadas, vendrá determinada por factores de tipo estructural y neural, los cuales han sido estudiados como los responsables en la mejora de la fuerza muscular y de la hipertrofia (W. J. Kraemer & Ratamess, 2004). La respuesta hormonal aguda se acentúa más en el crecimiento de los tejidos y en su remodelación que en los cambios crónicos en las concentraciones hormonales, existiendo algunos estudios en los que no se aprecian cambios significativos a nivel hormonal pero sí muestran una mejora de la fuerza y la hipertrofia muscular. (W. J. Kraemer & Ratamess, 2005).

Con respecto a las hormonas anabólicas como la testosterona y la hormona de crecimiento (GH), se ha observado que hay una elevación en las concentraciones de las mismas durante los 15 a 30 minutos después del ejercicio, donde parece ser que los entrenamientos con una intensidad elevada y un alto volumen en ejercicios que implican una mayor masa muscular con un menor tiempo de descanso son los que producen la mayor respuesta hormonal, tanto en estas hormonas anabólicas como en la hormona catabólica cortisol, en comparación con aquellos protocolos de entrenamiento con cargas más altas, un volumen menor y un mayor tiempo de descanso entre series. Otras de las hormonas anabólicas que tienen especial importancia en el crecimiento muscular son la insulina y la somatomedina C, o factor de crecimiento insulínico tipo 1 (IGF-1). Estas hormonas están reguladas por la glucosa en sangre y los niveles de aminoácidos,

aunque parece ser que el aumento de la IGF-1 circulante que se observa tras el entrenamiento se debe a la estimulación hepática de la secreción de la GH. Por otro lado, en algunos estudios recientes se ha indicado que las isoformas musculares de la IGF-1 podrían tener un papel importante en la reparación de los tejidos, aumentando la expresión genética derivada del estiramiento y la tensión del citoesqueleto que conllevaría una mayor síntesis proteica (W. J. Kraemer & Ratamess, 2005).

En la mayoría de estudios que nos encontramos en la literatura, se presta especial atención a las hormonas anabólicas y catabólicas más relevantes para la remodelación de tejidos. Esta remodelación es realmente un doble proceso en el que el catabolismo inicia el proceso durante el entrenamiento de fuerza y el anabolismo predomina durante la recuperación, resultando en un determinado crecimiento y reparación muscular, por lo que las adaptaciones que produciría el entrenamiento de fuerza se podrían clasificar en: (1) cambios agudos durante y después del entrenamiento de fuerza; (2) cambios crónicos en las concentraciones en reposo; (3) cambios crónicos en la respuesta aguda al estímulo del entrenamiento de fuerza y (4) cambios en los contenidos de los receptores celulares (W. J. Kraemer & Ratamess, 2005).

Una gran variedad de estudios en los que se analiza la respuesta hormonal al entrenamiento de fuerza han mostrado un aumento significativo, principalmente en hombres, de las concentraciones agudas de testosterona total, atribuyendo esta elevación a factores como la reducción del volumen plasmático y la estimulación adrenérgica (Jezova & Vigas, 1981), a la estimulación de la de la segregación de lactato (Lin, Wang, Wang, & Wang, 2001; Lu et al., 1997) y a las adaptaciones potenciales de la síntesis de testosterona y la capacidad de segregación de las células de Leydig en los testículos (Fry & Kraemer, 1997). De todas las variables de entrenamiento que hemos visto que se pueden manipular, parece haber un consenso evidente en que las más importantes para provocar una respuesta hormonal son el volumen y la intensidad. Así, nos encontramos diferentes estudios en los que se observa un aumento de la testosterona tras la aplicación de una serie de ejercicios. Por ejemplo, Weiss et al. (1983) mostraron un aumento en los niveles de testosterona tras la realización de 3 series de 4 ejercicios hasta el fallo muscular con el 80% de 1RM y 2 minutos de descanso entre series. Por otro lado, Ratamess et al. (2005) observaron que no se producía ningún efecto sobre la testosterona al realizar una serie de 10RM en el ejercicio de sentadilla, sin embargo, al

realizar 6 series de 10RM en ese mismo ejercicio con una recuperación de 2 minutos entre series, sí se observó un aumento de la testosterona post ejercicio. Esta información es muy relevante ya que podría deducirse que el número de series de un ejercicio es un factor importante para conocer la respuesta hormonal que este produciría sobre el organismo. Estos resultados coinciden con otro estudio publicado unos años atrás por Gotshalk et al. (1997), en el que se comparó el efecto sobre la testosterona que tendría la realización de 1 o 3 series de 10RM en 8 ejercicios diferentes. Como resultados se obtuvo un aumento significativo de la testosterona en ambos grupos (8 ejercicios), sin embargo, se observó un aumento mayor en el grupo que realizó 3 series con respecto al que realizó 1.

En cuanto a la respuesta crónica que podría tener la aplicación de un programa de entrenamiento sobre la testosterona nos encontramos con cierta disparidad en los resultados de los estudios. Por un lado, en algunos estudios no se han observado cambios en los niveles basales de testosterona tras la realización de un programa de entrenamiento ni en hombres ni en mujeres (Alen, Pakarinen, Hakkinen, & Komi, 1988; Hakkinen et al., 1990), mientras que otros estudios sí han observado aumentos en la testosterona en jóvenes pre-puberales y durante la pubertad (Tsolakis, Vagenas, & Dessypris, 2004). En un estudio llevado a cabo por Hakkinen et al., 1987 en levantadores olímpicos no se observó un aumento de la testosterona durante un año de entrenamiento, sin embargo sí se encontró una elevación de la concentración de testosterona durante el segundo año de entrenamiento (Hakkinen, Pakarinen, Alen, Kauhanen, & Komi, 1988). Siguiendo esta línea, en el estudio realizado por Ahtiainen et al. (2003) se observó un aumento de las concentraciones de testosterona tras las primeras 7 y 14 semanas de un programa de entrenamiento de fuerza con un alto volumen de entrenamiento, sin embargo, desde la semana 14 a la 21 se observó una reducción de esas concentraciones de testosterona que coincidió con una reducción del volumen de entrenamiento.

Además de la testosterona, otra de las hormonas anabólicas que recibe especial atención en la literatura es la hormona de crecimiento (GH), que realmente es un conjunto de hormonas polipeptídicas segregadas por el lóbulo anterior de la glándula pituitaria (W. J. Kraemer & Ratamess, 2005). Su acción está regulada por dos péptidos hipotalámicos: (1) la hormona liberadora de GH (GHRH), que estimula su síntesis; y (2) la

somatostatina, que la inhibe (Maas et al., 2000). Al igual que ocurre con la testosterona, la respuesta de la GH al entrenamiento está condicionada por la manipulación de las variables de entrenamiento, como la masa muscular implicada implicada (Hansen, Kvorning, Kjaer, & Sjogaard, 2001; W. J. Kraemer et al., 1992), el tipo de acción muscular (con una mayor respuesta en las acciones concéntricas que excéntricas) (Durand et al., 2003), la intensidad (Ahtiainen, Pakarinen, Kraemer, & Hakkinen, 2003; Pyka, Wiswell, & Marcus, 1992; Vanhelder, Radomski, & Goode, 1984), el volumen (Gotshalk et al., 1997; Hoffman et al., 2003), el descanso (W. J. Kraemer et al., 1991; W. J. Kraemer et al., 1990), el estado de entrenamiento inicial de los sujetos y el trabajo total realizado (Ahtiainen, Pakarinen, Alen, Kraemer, & Hakkinen, 2003; Rubin et al., 2005). Sin embargo, parece haber un consenso en la literatura sobre la importancia que tiene la cantidad de trabajo total realizado sobre la respuesta de la GH al entrenamiento, por lo que la mayoría de los estudios la consideran como la variable más importante.

En lo referente al entrenamiento de fuerza y su respuesta aguda sobre la hormona de crecimiento, se ha observado que los programas de entrenamiento en los que se entrena con una intensidad moderada o elevada, alto volumen y un periodo de descanso corto son los que producen una mayor respuesta aguda sobre la GH en comparación con el entrenamiento de fuerza de pocas repeticiones, cargas muy altas y periodos de descanso más prolongados (W. J. Kraemer et al., 1991; W. J. Kraemer et al., 1990) . Así, Hakkinen & Pakarinen, 1993 observaron que tras la realización de 20 series de 1RM en el ejercicio de sentadilla se produjo un incremento muy leve de la GH, mientras que la realización de un entrenamiento de 10 series de 10RM produjo un aumento significativo de la GH. En esta misma línea, Hoffman et al. (2003) compararon en su estudio la respuesta de la GH a dos protocolos diferentes de entrenamiento, uno en el que se realizaban 15 repeticiones con el 60% de 1RM en el ejercicio de sentadilla y otro en el que se realizaban 4RM, observando un aumento significativo de la GH en el protocolo de mayor volumen de entrenamiento.

En cuanto a la respuesta crónica de la GH parece ser que el entrenamiento de fuerza no influye en las concentraciones basales de esta hormona ni en hombres ni en mujeres (Hakkinen, Pakarinen, Kraemer, Newton, & Alen, 2000; W. J. Kraemer, Hakkinen, et al., 1999; Marx et al., 2001; McCall, Byrnes, Fleck, Dickinson, & Kraemer, 1999). Estas conclusiones están reforzadas por otros estudios en los que se observaron

concentraciones de GH en reposo similares en levantadores olímpicos (Hakkinen et al., 1988) y atletas de fuerza (Ahtiainen, Pakarinen, Alen, et al., 2003) en comparación con sujetos poco entrenados.

El estrés causado por el ejercicio hace que la corteza suprarrenal libere glucocorticoides. De ellos, el cortisol representa aproximadamente el 95% de la actividad total, siendo una hormona catabólica que tiene mayores efectos sobre las fibras tipo II. En los tejidos periféricos el cortisol estimula la lipólisis en las células adiposas, incrementa la degradación de proteínas y disminuye la síntesis proteica en la célula muscular resultando en una mayor liberación de lípidos y aminoácidos a la circulación (W. J. Kraemer & Ratamess, 2005).

Los resultados de los estudios en los que se analiza la relación entre el entrenamiento de fuerza y la respuesta aguda de esta hormona sugieren que un protocolo en el que se realice un número elevado de repeticiones por serie, con una carga moderada o alta y varias series de entrenamiento provocaría una elevación en los niveles de cortisol unido a una elevación de la concentración de lactato y de GH (W. J. Kraemer, Fleck, et al., 1993; W. J. Kraemer, Fleck, et al., 1999; W. J. Kraemer et al., 1992), por lo que parece ser que la respuesta de esta hormona al entrenamiento depende en gran medida del trabajo total realizado, tal y como hemos visto con la hormona de crecimiento. Algunos estudios han encontrado correlaciones entre la concentración sanguínea de lactato y el cortisol (Ratamess et al., 2004; W. J. Kraemer et al., 1989) mientras que en otros estudios se ha encontrado una alta correlación entre los niveles de cortisol y la concentración de creatin quinasa (CK) (W. J. Kraemer, Dziados, et al., 1993). En un estudio llevado a cabo por Smilios et al., 2003 en el que se realizaron entre 4 y 6 series de entrenamiento de fuerza se observó un aumento significativo del cortisol en comparación con la realización de 2 series de entrenamiento. En esta línea, Ratamess et al. (2005) han mostrado en los resultados de su estudio que un protocolo de 6 series de 10RM en el ejercicio de sentadilla con 2 minutos de descanso entre series incrementó sustancialmente los niveles de cortisol, mientras que la realización de una sola serie de entrenamiento no produjo ningún efecto. Además, en otro estudio, Kraemer et al. (1996) compararon el efecto que tendría el descanso sobre la respuesta aguda del cortisol al entrenamiento. Los sujetos realizaron 8 series de 10RM en el ejercicio de prensa de piernas, donde se observó que el grupo que descansaba 1 minuto entre series mostró un

aumento superior en el cortisol en comparación con el grupo que descansaba 3 minutos. Estos resultados sugieren que la respuesta aguda del cortisol depende en gran medida del trabajo total realizado y del estrés del programa de entrenamiento, acentuándose su concentración tras la realización de un número elevado de repeticiones con una carga moderada-alta y poco tiempo de recuperación.

En cuanto a la respuesta crónica del cortisol tras la realización de un programa de entrenamiento, los resultados son bastante dispares, existiendo algunos estudios en los que no se observan cambios en la secreción de cortisol (Ahtiainen, Pakarinen, Alen, et al., 2003; Fry et al., 1994; Hakkinen et al., 2000), así como otros que muestran tanto un aumento (Hakkinen & Pakarinen, 1991) como una reducción de la concentración (Marx et al., 2001; McCall et al., 1999) por lo que no parece que exista un consenso en la literatura sobre la respuesta crónica de esta hormona al entrenamiento de fuerza ni en hombres ni en mujeres. Sin embargo, parece ser que mientras los altos niveles crónicos de cortisol tienen efectos adversos, el aumento de esta hormona como respuesta aguda al estímulo del entrenamiento podría ser parte de un proceso de remodelación en el tejido muscular (W. J. Kraemer & Ratamess, 2005).

Tradicionalmente se ha establecido una relación entre la concentración de testosterona y cortisol que se conoce como el ratio testosterona/cortisol (T/C) o ratio testosterona libre/cortisol, sugiriendo que esta relación nos daría información sobre el estado anabólico o catabólico del músculo esquelético durante el entrenamiento de fuerza (Hakkinen, 1989). Así, un aumento de la testosterona, una disminución del cortisol o ambas respuestas al mismo tiempo indicarían un estado de anabolismo. Algunos estudios al respecto han mostrado cambios en el ratio T/C durante el entrenamiento de fuerza y potencia, relacionando este dato con una mejora del rendimiento en algunos casos (Alen et al., 1988; Hakkinen, Pakarinen, Alen, & Komi, 1985) mientras que otros estudios no observaron esos cambios en el ratio T/C (Ahtiainen, Pakarinen, Alen, et al., 2003). Sin embargo, parece ser que el entrenamiento de fuerza con un volumen elevado produce un aumento significativo mayor en el ratio T/C en comparación con una programación de bajo volumen de entrenamiento (Marx et al., 2001).

Además de las ya mencionadas anteriormente, otras de las hormonas anabólicas que tienen especial atención en la comunidad científica son las relacionadas con el factor de crecimiento insulínico (IGF). Entre ellas, la más estudiada es la somatomedina-C o más

conocida como la hormona del factor de crecimiento insulínico tipo 1 (IGF-1). Esta hormona está muy relacionada con la actividad de la GH, pues su síntesis está estimulada por esta última, lo que implicaría de esta manera la síntesis de proteínas durante el ejercicio, por lo que parece tener una alta relación con la hipertrofia muscular (Frystyk, 2010). En lo que respecta a la respuesta aguda inducida por el ejercicio, esta parece no quedar muy clara. Mientras que en la mayoría de los estudios no se han observado cambios en la IGF-1 durante o inmediatamente después de una serie de ejercicios de fuerza (Chandler, Byrne, Patterson, & Ivy, 1994; W. J. Kraemer et al., 1995; W. J. Kraemer, Volek, Bush, Putukian, & Sebastianelli, 1998), en un número menor de estudios sí se ha observado un aumento de la concentración durante y post ejercicio (W. J. Kraemer et al., 1991; Rubin et al., 2005). Sin embargo, se ha sugerido que la ausencia de cambios en la concentración de esta hormona podría deberse a una secreción tardía de entre 3 y 9 horas, siguiendo la síntesis de mRNA estimulada por la GH (W. J. Kraemer, Fleck, et al., 1993), ya que los valores máximos pueden no alcanzarse hasta 16-28 horas después de la estimulación de la liberación de la GH (Chandler et al., 1994).

Por otro lado, la respuesta crónica de esta hormona al entrenamiento de fuerza parece no tener efecto sobre los valores de reposo cuando el ciclo de entrenamiento es corto (McCall et al., 1999), mientras que si el ciclo de entrenamiento se prolonga en el tiempo parece existir una tendencia hacia el aumento de la concentración de esta hormona en sus niveles de reposo (Borst et al., 2001; Marx et al., 2001), destacando que el aumento es más marcado cuando el entrenamiento se realiza con un volumen elevado (Marx et al., 2001). Adicionalmente, también se han encontrado reducciones de hasta el 11% en sujetos con un estado importante de sobreentrenamiento, aunque una vez superado este estado los valores disminuidos de IGF-1 volvieron a su estado basal (Raastad, Bjoro, & Hallen, 2000; Raastad, Glomsheller, Bjoro, & Hallen, 2001).

Por último, sería importante destacar el estudio descriptivo realizado por Pareja-Blanco et al., 2016 así como el experimental realizado por Gorostiaga et al. (2004). En el primer de ellos se analizaron los efectos agudos de dos tipos de esfuerzos con la misma intensidad pero con una variación en el volumen de entrenamiento, ya que un grupo realizaba el máximo número de repeticiones por serie para esa carga [3x12(12)] y el otro realizaba justo la mitad de las repeticiones para esa misma carga [3x6(12)] en los

ejercicios de sentadilla completa y press banca. Estos autores analizaron conjuntamente, además de la fatiga mecánica, la respuesta hormonal producida sobre la testosterona, el cortisol, la hormona de crecimiento, la IGF-1, la prolactina y la creatin quinasa (CK) inmediatamente después, a las 6, a las 24 y a las 48 horas de la realización del ejercicio. Como resultados principales se observó que la concentración de cortisol fue mayor en el esfuerzo de 3x12(12) comparado con el 3x6(12) inmediatamente después, no existiendo diferencias 48 horas más tarde, sin embargo, los valores de cortisol fueron significativamente más bajos a las 48 horas en comparación con los valores pre-ejercicio para los dos grupos. En relación a los valores de IGF-1, se observó una elevación inmediatamente después para el grupo de 3x6(12) en comparación con el de 3x12(12). Por otro lado, los valores de GH y testosterona no mostraron diferencias ante los dos protocolos de entrenamiento.

En el segundo estudio citado en el párrafo anterior, se analizaron los efectos de un tipo de entrenamiento combinado de fuerza con cargas bajas en jóvenes futbolistas en comparación con un grupo control que sólo realizaba el entrenamiento normal de dicho equipo. Los ejercicios entrenados fueron la sentadilla completa con cargas bajas, la cargada de fuerza a altas velocidades de ejecución, saltos al cajón, saltos de tipo pliométrico entre vallas y sprints con un descanso entre series y ejercicios de 2 minutos. La frecuencia semanal fue de 2 sesiones a la semana durante 11 semanas de entrenamiento, habiendo una medición a las 4 primeras semanas y otra al final del ciclo de entrenamiento citado. Los resultados obtenidos sobre las hormonas mostraron un aumento de la testosterona tras las 11 semanas de entrenamiento para el grupo que realizó el entrenamiento de fuerza en comparación con el grupo control, sin embargo este aumento significativo se produjo entre la semana 4 y la 11, ya que en las 4 primeras semanas parece ser que hubo una tendencia hacia la disminución de los valores de testosterona. En lo que respecta a los valores de cortisol, no se observaron cambios significativos para ninguno de los dos grupos. La respuesta del ratio T/C aumentó en el grupo experimental y no se observaron cambios en el grupo control, aunque las diferencias entre los grupos no fueron significativas. Por último, no hubo cambios significativos en las concentraciones de testosterona libre en ninguno de los dos grupos.

Los resultados de los estudios analizados sobre la respuesta hormonal muestran la importancia que tiene la programación de cada esfuerzo de entrenamiento y su efecto

directo en el sistema endocrino. Como podemos observar, la mayoría de los estudios abogan por el uso de cargas moderadas-altas con altos volúmenes de entrenamiento para la mejora de la respuesta hormonal, sin embargo la mayoría de entrenamientos están encaminados a la hipertrofia muscular. Por otro lado, el único estudio que analiza la respuesta hormonal ante cargas bajas y un número bajo de repeticiones por serie es el realizado por Gorostiaga et al. (2004) en jóvenes futbolistas. Sin embargo, en el entrenamiento de este estudio no se controló diariamente la velocidad de cada uno de los ejercicios por lo que no conocemos exactamente el esfuerzo realizado por cada uno de sus jugadores, por lo que dejaría la puerta abierta a la realización de otros estudios en los que sí se controle diariamente la carga de entrenamiento y analice además la respuesta de otra serie de hormonas al entrenamiento de fuerza.

3.5 Niveles Iniciales de los sujetos en el entrenamiento de fuerza

En relación al estado inicial de los sujetos participantes en cada estudio y los efectos de la aplicación de un programa de entrenamiento de fuerza, nos encontramos con varias clasificaciones a la hora de identificarlos. Por un lado, algunos autores los diferencian como sujetos *no entrenados (o sin experiencia previa)* y *entrenados (o con experiencia previa en el entrenamiento de fuerza)*, existiendo clasificaciones dentro de estos términos como *entrenados recreacionalmente o bien entrenados*, mientras que otros autores optan por clasificarlos en *fuertes o débiles* en función de sus niveles iniciales de fuerza. Sin embargo, aunque parezca existir cierto consenso en cuanto a la nomenclatura, la verdad es que no queda claro el significado de lo que significa *entrenado y no entrenado o fuerte y débil* (Buckner et al., 2017). Ante esta problemática algunos autores han optado por clasificarlos en un nivel u otro en base a la experiencia previa en el entrenamiento de fuerza, entendida como el periodo de tiempo durante el cual vienen realizando ejercicios de fuerza (Bartolomei, Hoffman, Merni, & Stout, 2014; Mangine et al., 2008; Prestes et al., 2009), mientras que otros autores toman como referencia únicamente los niveles de fuerza previos (M. H. Stone et al., 2000) o los niveles de fuerza en combinación con el tiempo previo en el que vienen realizando entrenamiento de fuerza (Daniel Baker, Wilson, & Carlyon, 1994; Bartolomei, Stout, Fukuda, Hoffman, & Merni, 2015; Klemp et al., 2016; Willoughby, 1993).

Ante esta problemática, algunos autores han considerado los valores de 1RM en diferentes ejercicios como la variable que definiría mejor el estado inicial de cada

sujeto. Así, en algunos estudios se considera que un sujeto es *fuerte* inicialmente si su RM es igual o superior al 120% y al 150% de su peso corporal en los ejercicios de press banca y sentadilla, respectivamente (Willoughby, 1993). En esta misma línea, otros autores proponen que para considerar como *fuerte* a un sujeto debe tener al menos 1RM igual o superior a 110 kg en el ejercicio de sentadilla, además de ser capaz de levantar 1.3 veces (M. H. Stone et al., 2000) o 1.25 veces su peso corporal en ese mismo ejercicio y 1 vez su peso corporal en el ejercicio de press banca (Klemp et al., 2016).

En lo que respecta a las recomendaciones para el entrenamiento de fuerza según los niveles iniciales de los sujetos, parece que la literatura sí hace referencia a la experiencia previa de los mismos. Sin embargo, en lo que se refiere a la investigación, parece ser que la aplicación de un programa de entrenamiento u otro se realiza independientemente del nivel inicial, es decir, que el nivel inicial no implica la no realización de un entrenamiento determinado de fuerza, realizándose estudios con entrenamientos de fuerza similares con el objetivo de conocer la respuesta en sujetos tanto entrenados como no entrenados, así como entrenamientos de fuerza distintos con sujetos de características iniciales similares, buscando así el efecto de la aplicación de un determinado entrenamiento de fuerza, pues este dependerá tanto del estado de entrenamiento inicial como de la predisposición genética del deportista (W. J. Kraemer et al., 2002).

Algunos de estos estudios sugieren que los sujetos desentrenados o con niveles previos de fuerza más bajos experimentan de un modo más fácil la mejora en la función muscular inducida por el entrenamiento (Wilson, et al., 1993). Siguiendo esta línea, otros autores han confirmado estas afirmaciones con el entrenamiento tanto de cargas ligeras, a los que determinados autores llaman entrenamiento de potencia (Cormie, McCaulley, & McBride, 2007; Hakkinen, Alen, et al., 1985; N. K. Harris, Cronin, Hopkins, & Hansen, 2008; McBride et al., 2002; Wilson et al., 1993; Winchester et al., 2008), como con el entrenamiento de cargas altas (Kaneko et al., 1983; Stone et al., 1979; Stowers et al., 1983; Wilson et al., 1993) en sujetos relativamente débiles y en pocas semanas de entrenamiento (4 – 12 semanas), a pesar del estímulo totalmente diferente que produce cada tipo de entrenamiento. Dichos estudios concluyeron que en estos sujetos la aplicación de cualquier grado de esfuerzo puede producir las adaptaciones neuromusculares necesarias para la mejora de la fuerza, la potencia y la

velocidad (Cormie et al., 2007; Hakkinen, Alen, et al., 1985; Harris et al., 2000; Wilson et al., 1993).

Por otro lado, parece ser que la mejora del rendimiento en aquellos sujetos entrenados o con niveles de fuerza más elevados requiere del desarrollo de programas de entrenamiento de fuerza más específicos (Hakkinen et al., 1987). Así, se ha sugerido que los sujetos de estas características deberían entrenar con cargas más altas, al menos con un 80% de 1RM e incluso llegando al 100% de 1RM, para producir adaptaciones a nivel neural que conlleven una mejora de la fuerza (Hakkinen, Alen, et al., 1985), aunque en algunos estudios se ha observado una mejora de la fuerza con cargas correspondientes a 8-12RM y menores (Campos et al., 2002; William J. Kraemer, 1997; Staron et al., 1994). Sin embargo estos autores siguen proponiendo cargas en rangos de repeticiones más bajos pero con mayor intensidad (4-6RM) para la mejora de la fuerza en levantadores avanzados (Hakkinen, Alen, et al., 1985), llamando la atención que cualquier recomendación, independientemente de la intensidad del entrenamiento, sugiere la realización del número máximo de repeticiones que permite esa carga, es decir, recomendando en todo momento el entrenamiento de fuerza hasta el fallo muscular.

Tal y como podemos comprobar, parece que existe una falta de conocimiento sobre qué estímulo debemos aplicar en base a los niveles iniciales de los deportistas de los que disponemos para entrenar, atendiendo tanto a sus niveles iniciales de fuerza como a su experiencia previa en el entrenamiento. Esta afirmación se acentúa más cuando observamos que los mismos autores que sugieren que los sujetos no entrenados deben realizar un número más elevado de repeticiones con una intensidad menor (20-30RM), recomiendan por otro lado que esos mismos sujetos deberían entrenar con cargas del 60-70% de 1RM y hasta el fallo muscular para la mejora de la fuerza máxima (Anderson & Kearney, 1982; Campos et al., 2002; Peterson, Rhea, & Alvar, 2004; Rhea, Alvar, Burkett, & Ball, 2003; W. J. Stone & Coulter, 1994; Weiss, Conex, & Clark, 1999). Por lo tanto, parece necesario establecer unas bases de entrenamiento en las que se atienda a las necesidades específicas y a los objetivos de cada sujeto, así como a su nivel inicial, realizando una manipulación adecuada de las variables de entrenamiento y buscando en todo momento el mínimo estímulo o grado de esfuerzo que pueda producir una adaptación positiva al entrenamiento para cada nivel de rendimiento inicial.

4. ESTUDIO I. Efectos del entrenamiento de fuerza con cargas altas o bajas sobre el salto vertical, la velocidad y la fuerza en sentadilla

4.1 Planteamiento del Problema

Para la correcta programación del entrenamiento de fuerza se hace necesario el control de las variables que conforman la carga de entrenamiento (tipo de ejercicios y orden, volumen, intensidad, descanso entre series y velocidad de ejecución) (Sanchez-Medina & Gonzalez-Badillo, 2011). Sin embargo, parece existir una falta de consenso en la literatura sobre cuál sería la mejor combinación de estas variables para la mejora de la fuerza y el rendimiento físico. Así, nos encontramos programaciones tan diferentes como aquellas que justifican el empleo de cargas altas ($>85\%$ 1RM) para la mejora de la fuerza gracias a un mayor efecto de tipo neural, posiblemente debido a un mayor reclutamiento de las unidades motoras (W. J. Kraemer & Ratamess, 2004), así como a una mayor frecuencia de estímulo, coordinación intermuscular (Crewther et al., 2005; Hakkinen, Alen, et al., 1985; W. J. Kraemer et al., 2002; McBride et al., 2002; Sale, 2003) y a la propia especificidad de la carga de entrenamiento (Campos et al., 2002). Por otro lado, se ha sugerido que el empleo de cargas en torno al 70% de 1RM está más relacionado con la mejora de la fuerza a través del factor estructural o hipertrofia, ya que se ha observado que la aplicación de este tipo de entrenamiento produce un mayor efecto en el aumento de la masa y la función muscular (Holm et al., 2008; W. J. Kraemer & Ratamess, 2004). Sin embargo, en oposición con estos hallazgos, empiezan a verse algunos estudios en los que se sugiere que un entrenamiento con cargas bajas (30-40% 1RM) puede producir efectos similares a los que producen las cargas altas sobre la hipertrofia, siempre y cuando el número de repeticiones en el entrenamiento sea el máximo, (Burd et al., 2013), aunque no necesariamente en la misma medida sobre la fuerza muscular (Mitchell, Churchward-Venne, West et al., 2012). Tal y como podemos comprobar, prácticamente la totalidad de estos estudios se realizan con el máximo número de repeticiones por serie que cada carga permitiría realizar y sin un control exacto de la intensidad de entrenamiento más allá de las XRM, habiéndose estudiado en menor medida, además, el efecto que produciría la aplicación de esas mismas cargas con un volumen de entrenamiento que no implicase la realización de series hasta el fallo muscular. En este sentido, comienza a verse una corriente investigadora acerca del entrenamiento de fuerza tanto con cargas altas como bajas, en las que se sugiere que no

es necesario realizar un carácter del esfuerzo máximo para obtener mejoras tanto en la fuerza muscular como en acciones deportivas específicas, además de controlar la intensidad real de entrenamiento mediante la velocidad de ejecución (Gonzalez-Badillo et al., 2015; Pareja-Blanco, Rodriguez-Rosell, Sanchez-Medina, Sanchis-Moysi, et al., 2016). Esta disparidad en los resultados de los estudios nos hace pensar que parece existir una falta de consenso sobre cuál debería ser la carga de entrenamiento apropiada, en volumen e intensidad, para la mejora tanto de la fuerza como del rendimiento deportivo, no habiendo encontrado ningún estudio que compare el efecto que produciría la aplicación de dos rangos de intensidades diferentes con el mismo número de repeticiones totales en el ciclo de entrenamiento y con un control diario de la carga de entrenamiento a través de la velocidad de ejecución, por lo que estaríamos ante las condiciones necesarias para justificar la formulación de uno o varios problemas de investigación. En nuestro caso el problema que nos planteamos es el siguiente:

1. ¿Qué efecto tiene el entrenamiento de fuerza con cargas altas (70-90% de 1RM) frente al entrenamiento con cargas bajas (40-50% de 1RM) en el ejercicio de sentadilla completa sobre el salto vertical, la capacidad de sprint y la fuerza en las piernas?

4.1.1 Objetivos de la investigación

Según el problema definido, el objetivo de nuestro estudio es el siguiente:

1. Comprobar el efecto que produce un mismo volumen de entrenamiento de fuerza en el ejercicio de sentadilla completa sobre la fuerza en las piernas, la altura en el salto vertical y la capacidad de sprint cuando se entrena con cargas altas (70-90% de 1RM) frente a entrenar con cargas bajas (40-60% de 1RM).

4.1.2 Hipótesis

Tras la revisión de los estudios en los que se ha realizado un entrenamiento de fuerza con cargas altas o bajas, parece que la aplicación de cualquiera de estos dos tipos de entrenamiento produce una mejora significativa en la fuerza máxima, el salto y la capacidad de sprint. Sin embargo, en la mayoría de los estudios se sugiere que el entrenamiento con cargas altas mejoraría la fuerza en mayor medida que el entrenamiento con cargas bajas, recomendando, sin embargo, este último para la mejora

de las acciones a alta velocidad, dada la mayor especificidad de este tipo de entrenamiento, que se realiza a velocidades más altas de movimiento. Sin embargo, también se ha observado que ante sujetos jóvenes unas cargas de una intensidad relativa equivalente a la que se propone para este estudio ha producido una media de mejora de la RM próxima al 30% en un plazo de seis semanas de entrenamiento (Franco-Márquez et al., 2015). Por otra parte, también se ha observado que, ante la misma intensidad relativa, alcanzar mayor fatiga, a través de un número de repeticiones próximo al fallo muscular, no proporciona mejor efecto que realizando aproximadamente el 50% de repeticiones posible en la serie (Pareja-Blanco et al., 2016). Por tanto, dadas las características de los sujetos, jóvenes y medianamente entrenados en fuerza, y que el entrenamiento no pretende llegar al fallo muscular con las cargas ligeras, es probable que no se produzcan diferencias entre el efecto proporcionado por cargas altas frente a las cargas bajas. Por ello, proponemos las siguientes hipótesis:

Hipótesis 1: El entrenamiento de fuerza con cargas bajas (40-60% de la RM) proporciona un mayor efecto positivo sobre el salto vertical y la capacidad de sprint que el entrenamiento realizado con cargas altas (70-90% de la RM), y un efecto similar sobre la fuerza en sentadilla.

4.2 Metodología

4.2.1 Tipo de Investigación

La metodología del presente estudio queda determinada por el tipo de investigación, así como por los objetivos de la misma, la naturaleza de las variables y el nivel de control sobre las mismas. Dadas las características de los datos, el estudio que se presenta forma parte de una investigación cuantitativa, en el que por el grado de manipulación de las variables y los objetivos del mismo se incluye dentro de una investigación experimental. Por el enfoque en el análisis de los datos, la investigación es de tipo inferencial, además de tener un carácter longitudinal por el estudio de la evolución en la relación entre los cambios mecánicos y el rendimiento en el tiempo.

4.2.2 Diseño del Estudio

La presente investigación fue diseñada en un intento de explicar el efecto del entrenamiento de fuerza con cargas altas (GCA) o cargas bajas (GCB) sobre la capacidad de sprint, el salto y la fuerza en los miembros inferiores.

Para ello se formaron dos grupos equivalentes en fuerza relativa (1RM en relación al peso corporal, “1RMPC”: 120.2 vs. 119.0% en el GCA y el GCB, respectivamente), que entrenaron durante 6 semanas en el ejercicio de sentadilla completa (SQ), con una frecuencia de 2 sesiones semanales, con el mismo número de repeticiones para ambos grupos contando tanto el calentamiento como el entrenamiento, diferenciándose en la intensidad relativa de entrenamiento, es decir, entrenando en rangos de velocidad distintos (GCB: 40 – 60% 1RM; 1.28 – 0.98 m·s⁻¹ vs. GCA: 70 – 90% 1RM; 0.84 – 0.51 m·s⁻¹). Adicionalmente se realizó un estudio complementario con el objetivo de describir las respuestas mecánicas de cada sesión de entrenamiento.

Los test de evaluación se realizaron en la semana previa a la semana 1 de entrenamiento y los post-test en la semana posterior a la semana 6 de entrenamiento. Las sesiones fueron realizadas en espacios de 1 hora y media durante todo el día, siendo estos horarios fijos para cada grupo de sujetos a excepción de algunos casos puntuales. Tanto los test como los entrenamientos se realizaron bajo unas condiciones medioambientales similares (20-22°C y 55-65% humedad).

4.2.3 Sujetos

Treinta y seis varones, jóvenes y físicamente activos, realizaron los test iniciales para su posterior atribución a uno de los dos grupos de entrenamiento (GCA: Grupo de carga alta; GCB: Grupo de carga baja). La asignación de los sujetos a cada grupo de entrenamiento se realizó de manera aleatoria siguiendo una secuencia del tipo ABBA. Por causas de abandono, la muestra final del estudio estuvo compuesta por 32 sujetos (GCA n = 16; GCB n = 16).

Las características de los sujetos se muestran en la **Tabla 1**. Durante la duración del presente estudio, ninguno de los sujetos realizó ningún otro tipo de entrenamiento específico de fuerza ni participó en alguna especialidad deportiva de manera sistemática.

Tabla 1. Características de los grupos experimentales. Media \pm Desviación Típica (DT).

| GRUPO | Edad (años) | Altura (m) | Peso (kg) |
|--------------|--------------------|-------------------|------------------|
| GCA | 22.3 \pm 2.5 | 1.77 \pm 0.07 | 77.8 \pm 6.2 |
| GCB | 24.0 \pm 3.2 | 1.77 \pm 0.06 | 75.5 \pm 8.4 |

*GCA: Grupo de cargas altas (n = 16). GCB: Grupo de cargas bajas (n = 16)

Todos los sujetos fueron informados sobre los procedimientos experimentales y los posibles riesgos y beneficios asociados a la participación en el estudio, firmando un consentimiento informado antes de la realización de las evaluaciones iniciales (ANEXO I).

4.2.4 Variables Objeto de Estudio

4.2.4.1 Variables Independientes

- La variable independiente del presente estudio fue la carga de entrenamiento, comparando dos rangos de intensidades relativas: “Carga Alta de Entrenamiento” (70 - 90% 1RM) vs. “Carga Baja de Entrenamiento” (40 - 60% 1RM).

4.2.4.2 Variables Dependientes

- **Variables relacionadas con el rendimiento físico**
 - Fuerza dinámica máxima estimada en el ejercicio de sentadilla completa (1RM), en kg.
 - Media de la velocidad media propulsiva de las cargas comunes en ambos tests para el ejercicio de sentadilla completa (VMP), en $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.
 - Media de la velocidad media propulsiva de las cargas comunes en ambos tests que podían ser desplazadas a una velocidad igual o superior a $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ en el pre-test para el ejercicio de sentadilla completa ($\text{VMP} \geq 1$), en $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.

- Media de la velocidad media propulsiva de las cargas comunes en ambos tests cuya velocidad máxima fue inferior a $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ en el pre-test para el ejercicio de sentadilla completa ($\text{VMP} < 1$), en $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$.
 - Altura alcanzada en el salto con contramovimiento (CMJ), en cm.
 - Tiempo empleado en recorrer la distancia de 10 metros a la máxima velocidad (T10), en s.
 - Tiempo empleado en recorrer la distancia de 20 metros a la máxima velocidad (T20), en s.
 - Tiempo empleado en recorrer el parcial de 10 a 20 metros a la máxima velocidad ($T10 - 20$), en s.
- **Variables derivadas del análisis del entrenamiento realizado**
- **Mecánicas:**
- Velocidad media del ciclo de entrenamiento: velocidad media alcanzada durante el programa de entrenamiento realizado, cuantificando tan solo las repeticiones realizadas con la carga de entrenamiento, es decir, excluyendo las repeticiones realizadas durante el calentamiento.
 - Pérdida máxima de velocidad en cada sesión de entrenamiento: es la pérdida (%) de velocidad media propulsiva (VMP) entre la mejor repetición de la primera serie y la última repetición de la última serie.
 - Pérdida media de velocidad en la serie: es la pérdida (%) de velocidad media propulsiva (VMP) entre la mejor repetición y la última de cada serie.
 - Índice de esfuerzo (IE): es un indicador objetivo del grado de fatiga alcanzado el cual se calcula a través del producto de la velocidad de la mejor repetición con la carga máxima de la sesión (intensidad relativa) por la pérdida media de todas las series realizadas en esa sesión.

- Total de repeticiones realizadas a diferentes velocidades a lo largo de todo el ciclo de entrenamiento: Es el número total de repeticiones realizado a lo largo de todo el programa de entrenamiento dentro de cada rango de VMP, divididos en intervalos de $0.10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Por ejemplo, el número de repeticiones realizado entre las velocidades de 0.70 y $0.80 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

4.2.5 Procedimiento de evaluación

Todas las evaluaciones se realizaron durante el mismo día, en una sesión de una hora y media de duración. Entre la evaluación inicial (pre-test) y la evaluación final (post-test) transcurrieron 6 semanas de entrenamiento. Las mediciones se llevaron a cabo en el mismo orden y a la misma hora en cada grupo tanto en el pre-test como en el post-test. Antes del inicio de las evaluaciones los sujetos realizaron un calentamiento estandarizado dirigido por el investigador.

Las mediciones se presentan a continuación en el mismo orden en el que fueron llevadas a cabo durante el pre-test y el post-test:

Capacidad de sprint. Los sujetos realizaron 2 carreras de 20 metros sobre una superficie sintética en un recinto cubierto. La salida fue estandarizada, con la punta del pie colocada justo detrás de una línea de salida situada a 1 metro de la primera célula, pudiendo los sujetos comenzar la carrera cuando ellos quisieran, sin que hubiese ninguna señal de salida.

Para la medición del tiempo de carrera se colocaron 3 células fotoeléctricas (Polifemo Radio Light, Microgate, Bolzano, Italia) a los 0, 10 y 20 metros para registrar los tiempos parciales. Los sujetos realizaron un calentamiento estandarizado consistente en una carrera continua de 5 minutos, dos progresiones de 30 m, dos carreras de 20 m al 80-90% de la máxima velocidad estimada de carrera individual y dos aceleraciones de 10 m al 90% de la máxima velocidad estimada de carrera individual. Finalmente se realizaron dos intentos de 20 m con tres minutos de recuperación entre ellos, debiendo los sujetos recorrer la distancia en el menor tiempo posible. Los tiempos en las distancias de 0 a 10 m (T10), de 10 a 20 m (T10-20) y de 0 a 20 m (T20) fueron registrados. Los mejores tiempos en los dos intentos para cada distancia fueron

utilizados para el análisis estadístico. Los valores de fiabilidad obtenidos en las variables de sprint se muestran en la **Tabla 2**.

Tabla 2: Coeficiente de correlación intraclase (ICC) y coeficiente de variación (CV) de las variables relacionadas con la capacidad de sprint.

| | T10m | T10-20m | T20m |
|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| CCI (IC: 90%) | 0.835 (0.681; 0.917) | 0.956 (0.915; 0.978) | 0,936 (0.875; 0.967) |
| CV (%) | 2.5 | 1.3 | 1.5 |



Figura 1. Test de capacidad de sprint

Salto con contramovimiento (CMJ). Para la medición de la altura del salto se utilizó una plataforma de infrarrojos (Optojump, Microgate, Bolzano, Italia). La altura del salto fue determinada a partir del tiempo de vuelo.

Los sujetos realizaron un calentamiento estandarizado consistente en la ejecución de 2 series de 5 y 3 CMJ respectivamente, en los que se iba aumentando progresivamente la altura del salto con respecto al máximo de cada sujeto, con dos minutos de recuperación entre series para, a continuación, realizar la medición. Los sujetos partían desde una

posición erguida con las piernas extendidas y las manos sobre las caderas, realizando un movimiento de bajada hasta una posición de en torno a los 90° de flexión de rodilla inmediatamente seguida de una acción concéntrica explosiva con el objetivo de alcanzar la máxima altura de vuelo. Los sujetos fueron instruidos para mantener una posición vertical y las manos en la cadera durante el salto, además de flexionar las rodillas después de la recepción. Cada sujeto realizó 5 saltos máximos en la plataforma de infrarrojos, con un tiempo de recuperación de 30 segundos entre saltos. Para su posterior análisis se eliminó el mejor y el peor salto y se calculó la media de los 3 saltos restantes. Los valores de fiabilidad para el salto vertical fueron de: CCI (95% IC): 0.995 (0.991; 0.997); CV: 1.7%.



Figura 2. Test de salto con contramovimiento

Test progresivo de sentadilla completa. Para la valoración de la fuerza de los miembros inferiores los sujetos realizaron el ejercicio de sentadilla completa con distintas cargas

en un pórtico guiado (MultipowerFitness Line, Peroga SL, Murcia, España) a cuya barra fue conectado un sistema de transducción lineal de velocidad (T-ForceSystem, Ergotech, Murcia, Spain) que permitía la medición de la velocidad media durante la fase propulsiva (VMP) del movimiento en cada repetición. La fase propulsiva se corresponde con la parte de la fase concéntrica en la que la aceleración es mayor que la aceleración de la gravedad ($-9.81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$) (Sánchez-Medina et al., 2010). El transductor fue conectado a un ordenador personal, permitiendo, mediante un software especializado, el cálculo instantáneo de variables dinámicas y cinemáticas de cada repetición. Las muestras de velocidad lineal del movimiento fueron recogidas por este sistema de una forma instantánea con una frecuencia de 1000 Hz.

Para la correcta ejecución del ejercicio, los sujetos comenzaron en una posición erguida, con las rodillas y caderas completamente extendidas, los pies separados a la anchura de las caderas y la barra descansando sobre la espalda a lo largo de los hombros. Desde esa posición, cada sujeto descendía en un movimiento continuo hasta que la parte superior de sus muslos quedaba por debajo del plano horizontal y la parte posterior de los mismos tocaba con la parte posterior de los gemelos, en ese momento comenzaba la fase concéntrica, realizando la fase excéntrica a una velocidad controlada ($\sim 0.50 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) y la fase concéntrica a la máxima velocidad posible, aspecto éste fundamental para una correcta evaluación isoinercial de la fuerza y la potencia muscular (MacDougall, Wenger & Green, 1982). Tres minutos antes del inicio de las mediciones, se llevó a cabo un calentamiento realizando 6 repeticiones de sentadilla a una velocidad progresiva con una carga de 20 Kg. A continuación, se realizó un aumento progresivo la carga con aumentos de 10 kg hasta alcanzar una $\text{VMP} \leq 0.51 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, con tres minutos de recuperación entre cada carga. Se midió hasta esa velocidad ya que recientemente se ha demostrado que dicha velocidad se corresponde con el 90% de 1RM en el ejercicio de sentadilla (Sánchez-Medina et al. 2017), siendo esta la velocidad correspondiente a la carga más alta que se iba a utilizar durante el programa de entrenamiento en el grupo de carga alta. El número de repeticiones ejecutadas por cada sujeto con cada carga se determinó de acuerdo con la velocidad de la primera repetición. Con las cargas que se movían a una $\text{VMP} \geq 1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ se realizaron 4 repeticiones. Cuando el sujeto movía la carga a una $\text{VMP} < 1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ se realizaban 2 repeticiones, excepto para las cargas de $\text{VMP} \leq 0.7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, que se realizaba una única repetición. El mejor valor de VMP de cada serie se utilizó para su posterior análisis y la programación del entrenamiento

(González-Badillo et al. 2014). Por último, también se registró la estimación de 1RM indicada por el propio software del transductor lineal de velocidad.



Figura 3. Test de cargas progresivas en el ejercicio de sentadilla completa

4.2.6 Entrenamiento de Fuerza

El ejercicio que se llevó a cabo a lo largo de las 6 semanas de entrenamiento y con una frecuencia de 2 sesiones a la semana fue la sentadilla completa (SQ). Dicho ejercicio se ejecutó siempre a una velocidad controlada en la fase de bajada y a la máxima velocidad en la fase concéntrica del movimiento, pues se ha demostrado recientemente que la intención de desplazar la carga a la máxima velocidad posible ofrece mejores posibilidades que desplazarla a una velocidad lenta (Pareja-Blanco et al., 2014). El volumen de entrenamiento fue igualado para los dos grupos, por lo que cada uno de ellos se diferenció únicamente en la intensidad realizada. Además, para la igualdad del volumen, también se contabilizaron las series y las repeticiones realizadas en el calentamiento. El GCB entrenó con cargas entre el 40 y el 60% de 1RM (VMP de 1.28 a 0.98 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) y, por otro lado, GCA entrenó con cargas entre el 70 y el 90% de 1RM (VMP de 0.84 a 0.51 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$). En la **Tabla 3** puede observarse una descripción detallada del entrenamiento programado.

Tabla 3. Entrenamiento de Fuerza para ambos grupos de entrenamiento

| Entrenamiento de Carga Baja (40 - 60% 1RM) | | Calentamiento | Entrenamiento |
|---|------------------|--|-------------------------|
| Semana 1 | Sesión 1 | | 3x6 (40% 1RM ~1.28 m/s) |
| | Sesión 2 | | 3x6 (40% 1RM ~1.28 m/s) |
| Semana 2 | Sesión 3 | 1x6 (40% 1RM ~1.28 m/s) | 3x6 (50% 1RM ~1.14 m/s) |
| | Sesión 4 | 1x6 (40% 1RM ~1.28 m/s) | 3x6 (50% 1RM ~1.14 m/s) |
| Semana 3 | Sesión 5 | 1x6 (40% 1RM ~1.28 m/s) | 3x8 (50% 1RM ~1.14 m/s) |
| | Sesión 6 | 1x6 (40% 1RM ~1.28 m/s) 1x6 (50% 1RM ~1.14 m/s) | 3x6 (55% 1RM ~1.07 m/s) |
| Semana 4 | Sesión 7 | 1x6 (40% 1RM ~1.28 m/s) 1x6 (50% 1RM ~1.14 m/s) | 3x6 (55% 1RM ~1.07 m/s) |
| | Sesión 8 | 1x6 (40% 1RM ~1.28 m/s) 1x6 (50% 1RM ~1.14 m/s) | 3x8 (55% 1RM ~1.07 m/s) |
| Semana 5 | Sesión 9 | 1x6 (40% 1RM ~1.28 m/s) 1x6 (50% 1RM ~1.14 m/s) | 2x5 (60% 1RM ~1.00 m/s) |
| | Sesión 10 | 1x6 (40% 1RM ~1.28 m/s) 1x6 (50% 1RM ~1.14 m/s) | 3x5 (60% 1RM ~1.00 m/s) |
| Semana 6 | Sesión 11 | 1x6 (40% 1RM ~1.28 m/s) 1x6 (50% 1RM ~1.14 m/s) | 3x5 (60% 1RM ~1.00 m/s) |
| | Sesión 12 | 1x6 (40% 1RM ~1.28 m/s) 1x6 (50% 1RM ~1.14 m/s) | 3x6 (60% 1RM ~1.00 m/s) |

| Entrenamiento de Carga Alta (70 - 90% 1RM) | | Calentamiento | Entrenamiento |
|---|-----------|--|-------------------------|
| Semana 1 | Sesión 1 | 1x4 (40% 1RM ~1.28 m/s) 1x4 (50% 1RM ~1.14 m/s) 1x4 (60% 1RM ~1.00 m/s) | 3x6 (70% 1RM ~0.84 m/s) |
| | Sesión 2 | 1x4 (40% 1RM ~1.28 m/s) 1x4 (50% 1RM ~1.14 m/s) 1x4 (60% 1RM ~1.00 m/s) | 3x8 (70% 1RM ~0.84 m/s) |
| Semana 2 | Sesión 3 | 1x4 (50% 1RM ~1.14 m/s) 1x4 (60% 1RM ~1.00 m/s) 1x4 (70% 1RM ~0.84 m/s) | 3x6 (75% 1RM ~0.76 m/s) |
| | Sesión 4 | 1x4 (50% 1RM ~1.14 m/s) 1x4 (60% 1RM ~1.00 m/s) 1x4 (70% 1RM ~0.84 m/s) | 4x6 (75% 1RM ~0.76 m/s) |
| Semana 3 | Sesión 5 | 1x4 (50% 1RM ~1.14 m/s) 1x4 (60% 1RM ~1.00 m/s) 1x4 (70% 1RM ~0.84 m/s) | 4x4 (80% 1RM ~0.68 m/s) |
| | Sesión 6 | 1x4 (50% 1RM ~1.14 m/s) 1x4 (60% 1RM ~1.00 m/s) 1x4 (70% 1RM ~0.84 m/s) | 4x5 (80% 1RM ~0.68 m/s) |
| Semana 4 | Sesión 7 | 1x4 (60% 1RM ~1.00 m/s) 1x4 (70% 1RM ~0.84 m/s) 1x3 (80% 1RM ~0.68 m/s) | 4x2 (85% 1RM ~0.59 m/s) |
| | Sesión 8 | 1x4 (60% 1RM ~1.00 m/s) 1x4 (70% 1RM ~0.84 m/s) 1x3 (80% 1RM ~0.68 m/s) | 4x3 (85% 1RM ~0.59 m/s) |
| Semana 5 | Sesión 9 | 1x4 (60% 1RM ~1.00 m/s) 1x4 (70% 1RM ~0.84 m/s) 1x3 (80% 1RM ~0.68 m/s) | 5x3 (85% 1RM ~0.59 m/s) |
| | Sesión 10 | 1x4 (60% 1RM ~1.00 m/s) 1x4 (70% 1RM ~0.84 m/s) 1x3 (80% 1RM ~0.68 m/s) | 2x2 (90% 1RM ~0.51 m/s) |
| Semana 6 | Sesión 11 | 1x4 (60% 1RM ~1.00 m/s) 1x4 (70% 1RM ~0.84 m/s) 1x3 (80% 1RM ~0.68 m/s) 1x2 (85% 1RM ~0.59 m/s) | 3x2 (90% 1RM ~0.51 m/s) |
| | Sesión 12 | 1x4 (60% 1RM ~1.00 m/s) 1x4 (70% 1RM ~0.84 m/s) 1x3 (80% 1RM ~0.68 m/s) 1x2 (85% 1RM ~0.59 m/s) | 3x2 (90% 1RM ~0.51 m/s) |

El número de series osciló entre 2 y 3 para el GCB y entre 2 y 5 para el GCA. En cuanto al número de repeticiones por serie, el GCB realizó entre 5 y 8 repeticiones por serie en función de la intensidad, pero siempre con un carácter del esfuerzo bajo. Por otro lado, el GCA realizó entre 2 y 8 repeticiones por serie en función de la intensidad, donde el carácter del esfuerzo más elevado del ciclo fue, teóricamente, de 8(12) ($\sim 70\%$ 1RM; $0.84 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$), realizando en el resto de las sesiones un carácter del esfuerzo medio para cada intensidad relativa. El tiempo de recuperación fue de 3 minutos entre series. Se controló la velocidad de ejecución en todas las sesiones, lo que permitió ajustar la carga externa en cada sesión, de forma que se modificaba la carga propuesta para mantener la carga real programada. El criterio para modificar la carga absoluta en cada serie fue una diferencia de $\pm 0.05 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ en la VMP del ejercicio.

Antes de cada sesión de entrenamiento los sujetos realizaban un calentamiento consistente en carrera continua de 5', 6 flexiones de piernas sin cargas adicionales, 2 series de CMJ, una de 5 saltos y otra de 3 con 2 minutos de recuperación. A continuación, se realizaba la medición del CMJ para comprobar la evolución diaria de esta variable a lo largo del ciclo de entrenamiento y, tras esto, se realizaba el entrenamiento de sentadilla descrito.

4.2.7 Análisis estadístico

Se emplearon métodos estadísticos estándares para el cálculo de las medias y desviaciones típicas (DT). Se calculó el coeficiente de correlación intraclase (CCI) y el coeficiente de variación (CV) para comprobar la fiabilidad de determinadas variables. La homogeneidad de varianzas entre grupos se verificó usando el test de Levene. La prueba de Shapiro-Wilk se usó para comprobar la normalidad de la distribución en cada una de las variables. Los datos se analizaron utilizando un ANOVA factorial 2x2 usando un factor entre grupos (GCA vs. GCB) y un factor intra-grupos (Test 1 vs. Test 2). Para la comparación de la evolución del salto vertical y de la RM a lo largo del ciclo de entrenamiento se realizó un ANOVA factorial 2x14 con ajustes para comparaciones múltiples post-hoc de Bonferroni. Además, para comparar los valores de índice de esfuerzo y pérdida de velocidad alcanzados por ambos grupos en cada una de las sesiones de entrenamiento se realizó un ANOVA de un factor. Se consideró un nivel alfa como $p \leq 0.05$. Además de este análisis de hipótesis nula, se realizó un análisis

basado en la magnitud de cambio (Batterham & Hopkins, 2006; Hopkins, Marshall, Batterham, et al., (2009)). El tamaño del efecto (TE) se calculó usando la g de Hedges para estimar la magnitud del efecto del entrenamiento sobre las diferentes variables dentro de cada grupo, como sigue: $g = (\text{Test 2} - \text{Test 1}) / \text{DT combinada}$ (Hedges & Olkin, 1985). Las diferencias estandarizadas o los TE para los cambios en las variables dependientes entre grupos (GCA vs. GCB) se calcularon usando los valores de la DT del Test 1 combinada de ambos grupos (Cohen, 1988). Para las comparaciones entre grupos, se calculó la probabilidad de que los valores reales (desconocido) para cada grupo experimental fuesen *beneficioso/mejor* [por ej. mayor que el mínimo cambio apreciable ($0.2 \times \text{DT entre-sujetos del Test 1}$, basado en el principio de TE de Cohen (Cohen, 1988))], *no claro*, *perjudicial/peor* para el rendimiento. La probabilidad cuantitativa de un efecto *beneficioso/mejor* o *perjudicial/peor* se calculó cualitativamente como sigue: <1%, casi seguro que no; 1-5%, muy poco probable; 5-25%, poco probable; 25-75%, posible; 75-95%, probable; 95-99%, muy probable; y >99%, casi seguro. Si las probabilidades de tener un efecto *beneficioso/mejor* o *perjudicial/peor* fueron ambas >5%, la diferencia fue evaluada como *no clara* (Batterham & Hopkins, 2006; Hopkins et al., (2009)). Para el análisis basado en la magnitud de cambio se usó una hoja de Excel (Hopkins, 2006). El paquete estadístico SPSS 18.0 se usó para el resto del análisis.

4.3 Resultados

En la **Figura 4** se presenta la distribución del número de repeticiones por zonas de velocidad (intensidad relativa) una vez realizado el entrenamiento. El número de repeticiones realizado por cada grupo con la carga máxima de cada sesión de entrenamiento fue muy semejante al programado. El GCA realizó 165.0 ± 10.8 repeticiones frente a las 171 programadas, y el GCB 211.3 ± 10.8 frente a las 214 programadas. Con respecto al número total de repeticiones programado, 316 para ambos grupos contabilizando también las repeticiones realizadas antes de llegar a las series con la carga máxima de entrenamiento, el GCA realizó 297.3 ± 30.5 y el GCB 307.8 ± 20.9 . Por lo tanto, ambos grupos realizaron un número de repeticiones prácticamente igual al programado. Las escasas repeticiones perdidas por el GCA se debieron a que algún sujeto en alguna ocasión no pudo completar las repeticiones programadas debido a la fatiga.

La **Tabla 4** muestra la evolución de la pérdida de velocidad a lo largo del ciclo de entrenamiento para ambos grupos experimentales. El GCA experimentó una mayor pérdida de velocidad en todas las sesiones de entrenamiento con respecto al GCB, existiendo una diferencia estadísticamente significativa entre las pérdidas de cada grupo en las sesiones 1, 2, 3, 4, 6 y 9 ($P < 0.001$). La pérdida media durante el ciclo de entrenamiento para el GCA vs. GCB fue de un 19.3% vs 10.0%, observándose entre ambos grupos una diferencia estadísticamente significativa en esta variable ($P < 0.001$). La velocidad media del ciclo de entrenamiento del GCA fue de $0.68 \pm 0.03 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, y para el GCB fue de $1.05 \pm 0.02 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ($P < 0.001$).

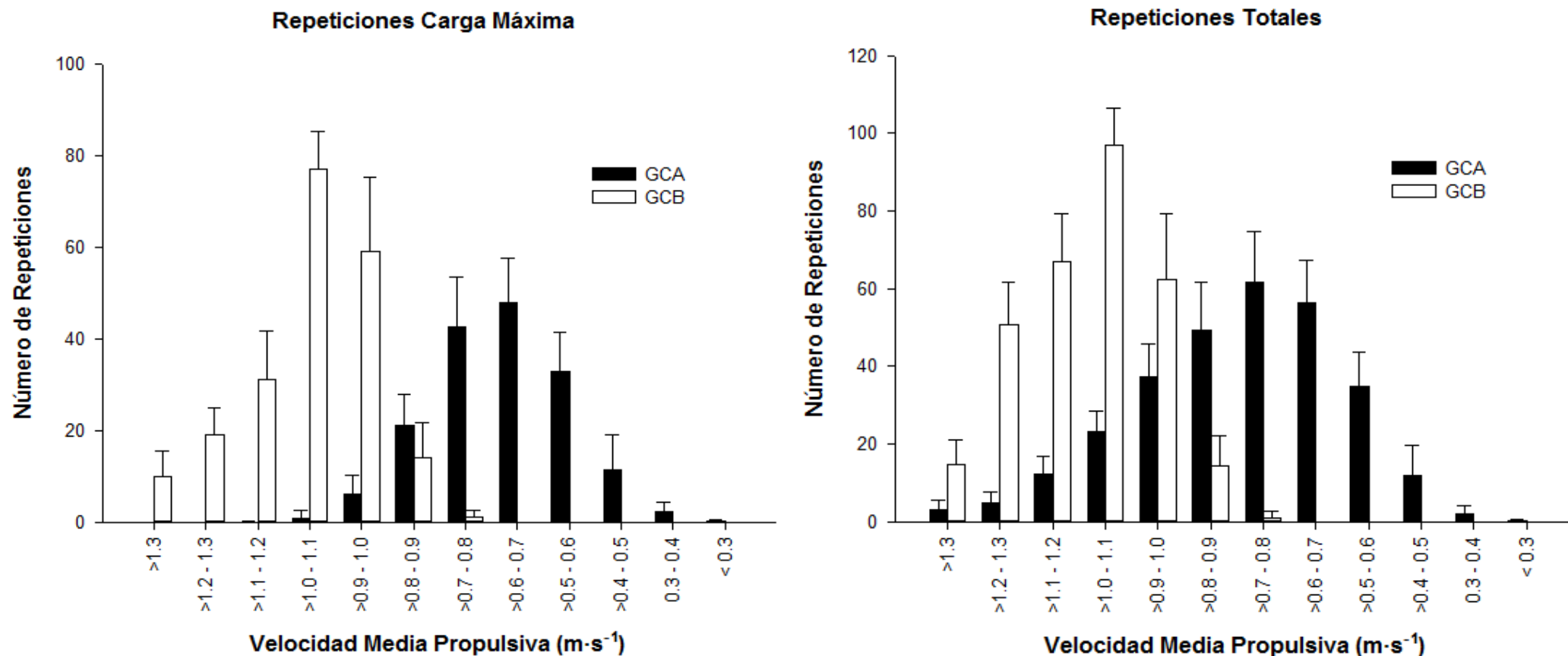


Figura 4. Número de repeticiones realizado por cada grupo en distintas zonas de velocidad (intensidad relativa) durante el ciclo de entrenamiento. **GCA:** Grupo de carga alta (n = 16). **GCB:** Grupo de carga baja (n = 16). **Repeticiones Carga Máxima:** Distribución de las repeticiones realizadas con la carga máxima de cada sesión. **Repeticiones Totales:** Distribución del total de repeticiones realizadas durante el ciclo de entrenamiento que comprenden las programadas previas a la carga máxima y las cargas máximas de cada sesión.

Tabla 4. Pérdida media de velocidad en cada sesión de entrenamiento

| | Sesión 1 | Sesión 2 | Sesión 3 | Sesión 4 | Sesión 5 | Sesión 6 | Sesión 7 | Sesión 8 | Sesión 9 | Sesión 10 | Sesión 11 | Sesión 12 |
|------------|---------------|---------------|----------------|---------------|------------|---------------|------------|------------|---------------|------------|------------|------------|
| GCA | 20.8 ± 5.9*** | 30.3 ± 6.8*** | 24.8 ± 11.7*** | 22.8 ± 7.7*** | 19.3 ± 8.0 | 25.3 ± 9.8*** | 10.6 ± 4.5 | 18.3 ± 9.1 | 20.6 ± 7.8*** | 14.4 ± 9.1 | 11.1 ± 3.6 | 13.3 ± 6.1 |
| GCB | 6.0 ± 3.2 | 6.5 ± 2.9 | 9.4 ± 3.8 | 11.2 ± 5.4 | 12.9 ± 4.6 | 10.9 ± 5.2 | 9.8 ± 3.9 | 14.4 ± 5.4 | 8.1 ± 3.7 | 9.8 ± 3.9 | 8.9 ± 3.8 | 12.7 ± 3.6 |

Resumen del ciclo de entrenamiento en relación con los valores de velocidad y repeticiones

| | Pérdida Media (%) | Velocidad Media (m·s ⁻¹) | Repeticiones Carga Máxima | Repeticiones Totales |
|------------|-------------------|--------------------------------------|---------------------------|----------------------|
| GCA | 19.3 ± 6.1*** | 0.68 ± 0.03*** | 165.0 ± 10.8*** | 297.3 ± 30.5 |
| GCB | 10.0 ± 2.5 | 1.05 ± 0.02 | 211.3 ± 10.8 | 307.8 ± 20.9 |

Los valores son expresados como media ± desviación típica. **GCA:** Grupo de carga alta (n = 16). **GCB:** Grupo de carga baja (n = 16). **Pérdida Media:** Porcentaje medio de pérdida de velocidad de cada sesión de entrenamiento, calculado a partir de la media de las pérdidas de las series que conformaron cada sesión con la carga máxima del entrenamiento. La pérdida de cada serie se calculó como el porcentaje que representó la última repetición con respecto a la mejor repetición de dicha serie. **Velocidad Media:** Velocidad media del ciclo de entrenamiento contando todas las repeticiones realizadas con la carga máxima de cada sesión. **Repeticiones Carga Máxima:** Número de repeticiones realizado en el ciclo de entrenamiento con la carga máxima de cada sesión. **Repeticiones Totales:** Número de repeticiones totales realizado en el entrenamiento con todas las cargas de la sesión, tanto con la carga máxima diaria como las realizadas en las series previas a dicha carga. Diferencias significativas entre grupos: *** P ≤ 0.001.

En la **Figura 5** se observa la evolución del índice de esfuerzo en cada sesión para cada grupo de entrenamiento. Los valores obtenidos por el GCA en las primeras sesiones fueron significativamente superiores con respecto a los valores del GCB, excepto en la sesión 5, que fue mayor en el GCB sin existir diferencias significativas. El GCB obtuvo mayores índices de esfuerzo a partir de la séptima sesión, excepto en la sesión 9, con respecto al GCA, observándose diferencias significativas en algunas sesiones. Sin embargo, el valor medio del ciclo fue significativamente mayor para el GCA en comparación con el GCB (14.5 vs. 11.1, respectivamente, $P < 0.01$). Por otro lado, la evolución del índice de esfuerzo en ambos grupos obtuvo una dinámica diferente. En el GCA se observaron unos valores más altos en las primeras sesiones con un descenso progresivo a la vez que avanzaba el ciclo de entrenamiento, mientras que en el GCB el índice de esfuerzo se mantuvo prácticamente estable en todas las sesiones del ciclo. Este descenso del GCA y la estabilidad del GCB podrían explicar las diferencias observadas en las últimas sesiones en las que el GCB obtuvo un índice de esfuerzo mayor que el GCA, llegando incluso a mostrar diferencias significativas en las sesiones 8 y 12 ($P < 0.05$ y $P < 0.001$, respectivamente).

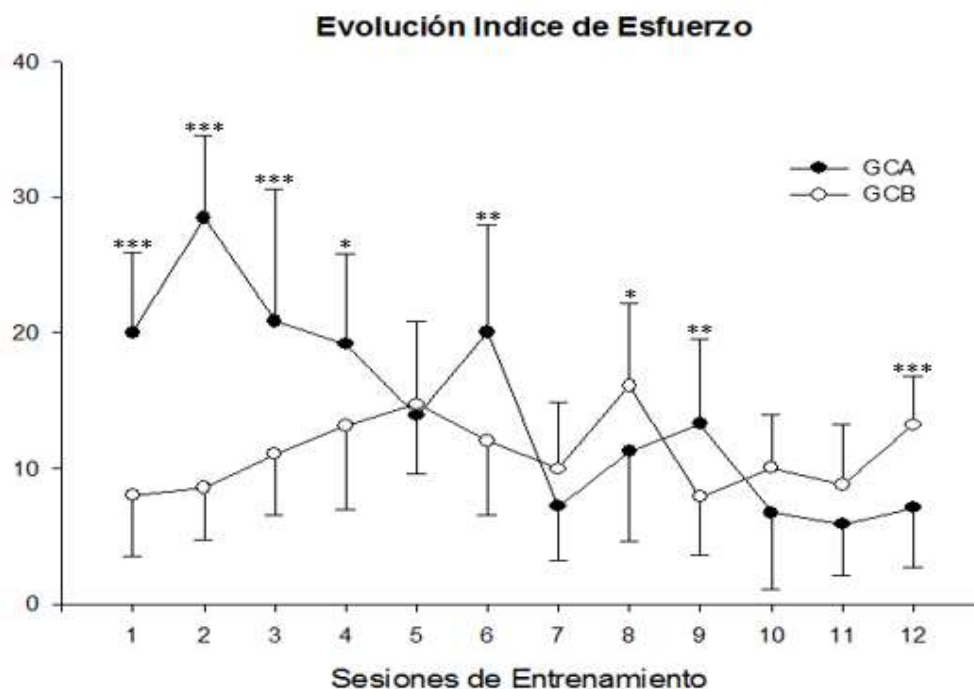


Figura 5. Evolución del índice de esfuerzo a los largo del ciclo de entrenamiento. **GCA:** Grupo de carga alta ($n = 16$). **GCB:** Grupo de carga baja ($n = 16$). Para el cálculo del índice de esfuerzo en cada sesión se multiplicó el valor de la mejor repetición con la carga de entrenamiento por la pérdida media correspondiente a las series de entrenamiento de ese día. Diferencias significativas entre grupos: * $P < 0.05$; ** $P < 0.01$; *** $P < 0.001$

En la **Figura 6a** se muestra la evolución diaria del rendimiento en el salto vertical (CMJ) de ambos grupos de entrenamiento. El GCB experimentó un efecto positivo sobre la mejora de esta variable durante todo el ciclo de entrenamiento, con una diferencia estadísticamente significativa en las sesiones 6, 8, 9 y 12 ($P < 0.05$) y en las sesiones 10 y 11 ($P < 0.01$) con respecto al pre-test. En el GCA no se observó una diferencia estadísticamente significativa en ninguna de las sesiones de entrenamiento con respecto al pre-test. En cuanto a la evolución de 1RM (**Figura 6b**) ambos grupos de entrenamiento tienden a mejorar en esta variable a lo largo del ciclo. En las primeras sesiones se produce un aumento más marcado en el GCB, invirtiéndose esta evolución a partir de la sesión número 7 del ciclo de entrenamiento, donde el GCA muestra una mejora más marcada que el GCB. En el análisis intra-grupo se observó un aumento estadísticamente significativo en las sesiones 2, 4, 10 ($P < 0.05$), 6, 8 ($P < 0.01$), 7, 9, 11, 12 y en el post-test ($P < 0.001$) con respecto al pre-test para el GCA, mientras que en el GCB se observó una mejora estadísticamente significativa en las sesiones 7, 9 y post-test ($P < 0.05$), 3, 6, 8, 11 ($P < 0.01$), 2, 4 y 12 ($P < 0.001$) con respecto al pre-test.

Por lo tanto, el GCB mostró un rendimiento significativamente mejor en el CMJ en 6 de las 12 sesiones de entrenamiento con respecto al pre-test, mientras que el GCA no mejoró su rendimiento en el CMJ en ninguna de las sesiones con respecto al pre-test. Con respecto a la RM, tanto el GCB como el GCA mostraron una mejora estadísticamente significativa en 9 de las 12 sesiones de entrenamiento con respecto al pre-test, sin observarse diferencias significativas entre grupos para ninguna de las sesiones de entrenamiento.

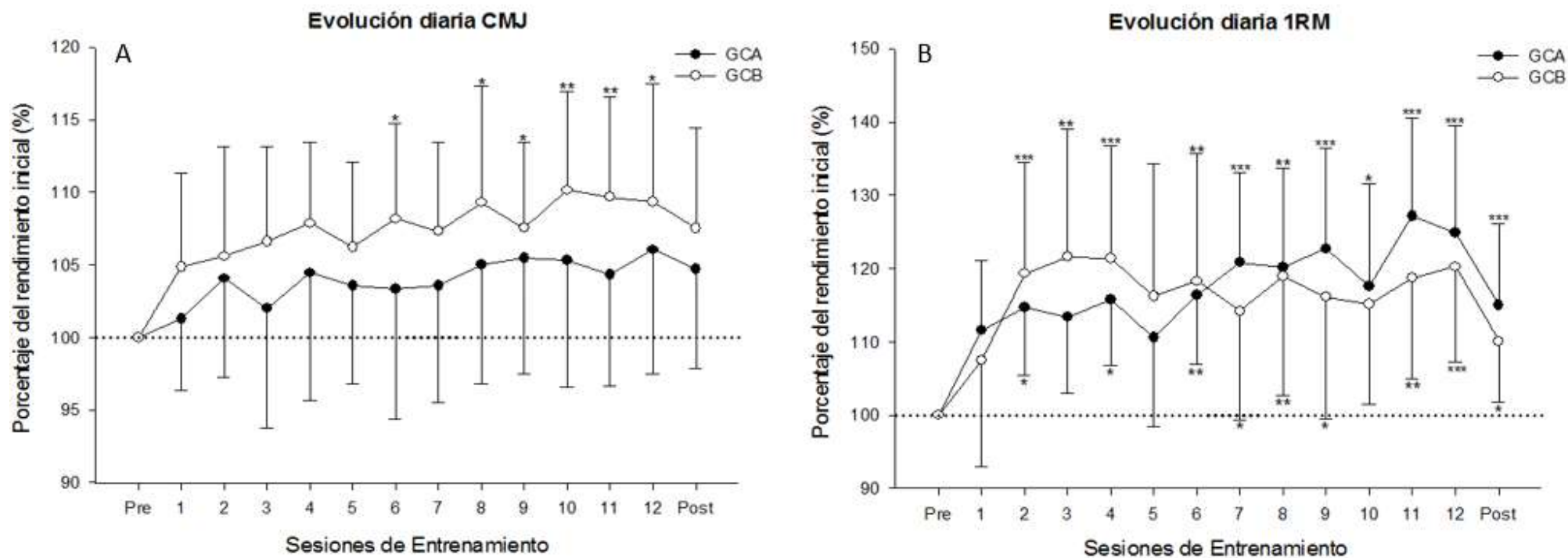


Figura 6. Evolución diaria del CMJ (A) y de 1RM (B) para el GCA y el GCB a lo largo del ciclo de entrenamiento. **GCA:** Grupo de carga alta (n = 16). **GCB:** Grupo de carga baja (n = 16). La **Figura 6a** representa la evolución diaria del salto vertical medido antes de cada sesión de entrenamiento para ambos grupos experimentales. El valor del salto inicial (pre) fue considerado como el 100%. La **Figura 6b** representa el valor estimado de 1RM para cada día de entrenamiento. El valor de 1RM del test inicial fue considerado como 100%. Diferencias significativas intra-grupo: * $P \leq 0.05$; ** $P \leq 0.01$; *** $P \leq 0.001$.

El resumen de los resultados obtenidos pre-post entrenamiento sobre las variables objeto de estudio tras el ciclo de entrenamiento se muestra en la **Tabla 5** y en las **Figuras 7a y 7b**.

Cambios Intra-grupo

El GCA experimentó una mejora estadísticamente significativa en las variables de 1RM, VMP y VMP<1 ($P < 0,001$) tras el periodo de entrenamiento. El tiempo en 20 metros (T20) mostró un aumento significativo ($P < 0.05$), lo cual, en este caso, significa un efecto negativo. El resto de variables analizadas no mostraron diferencias significativas entre el pre y el post-test. Además, las inferencias basadas en la magnitud del cambio determinaron un *más que probable* aumento en 1RM y VMP<1 (100/0/0). Adicionalmente, se observó un *muy probablemente* aumento en VMP (99/1/0), un *probablemente* aumento en VMP≥1 (79/19/2), CMJ (88/12/0) y un *posiblemente* efecto negativo en T10 (2/25/73) y T20 (0/35/65).

El GCB experimentó una mejora estadísticamente significativa en las variables de 1RM, CMJ, VMP<1 ($P < 0.001$) y VMP ($P < 0.01$) tras el periodo de entrenamiento. El resto de variables analizadas no mostraron diferencias significativas entre el pre y el post-test. Además, las inferencias basadas en la magnitud del cambio determinaron un *más que probable* aumento en 1RM y VMP<1 (100/0/0). Adicionalmente, se observó un *muy probablemente* efecto positivo en VMP (99/1/0) y CMJ (99/1/0), un *posiblemente* efecto positivo en VMP≥1 (74/23/3) y negativo en T10 (1/68/31). En el resto de variables los efectos fueron *probablemente triviales* (Tabla X+1).

Cambios Inter-grupo

No se observaron diferencias significativas entre el GCA y el GCB ni en el pre-test ni en el post-test para ninguna de las variables analizadas. Las inferencias basadas en la magnitud del cambio determinaron un *posiblemente* mayor efecto en la variable RM (0/33/67) a favor de GCA, así como un *posiblemente* mejor efecto en las variables de T10-20 (33/65/2), T20 (38/60/2) y CMJ (45/54/1) a favor de GCB. En el resto de variables los efectos fueron *no claros*.

Tabla 5. Resultados pre-post entrenamiento en los ejercicios de sentadilla completa, salto vertical y carrera de 20 m.

| | GCA | | GCB | | Cambios observados para GCA vs. GCB | |
|---|-------------|-----------------|-------------|----------------|--|---|
| | Pre | Post | Pre | Post | Diferencias (Cohen) Estandarizadas (IC 90%) | Probabilidad de un mejor efecto para GCB/similar/GCA |
| 1RM (kg) | 93.3 ± 16.4 | 106.3 ± 15.8*** | 89.6 ± 15.3 | 98.2 ± 15.5*** | -0.27 (-0.56; 0.01) | 0/33/67 Posiblemente |
| VMP (m·s ⁻¹) | 1.00 ± 0.11 | 1.11 ± 0.11*** | 1.01 ± 0.11 | 1.09 ± 0.10** | -0.19 (-0.81; 0.44) | 15/37/49 No Claro |
| VMP _{≥1} (m·s ⁻¹) | 1.38 ± 0.10 | 1.42 ± 0.12 | 1.35 ± 0.10 | 1.39 ± 0.12 | -0.06 (-0.73; 0.62) | 26/38/36 No Claro |
| VMP _{<1} (m·s ⁻¹) | 0.75 ± 0.11 | 0.89 ± 0.13*** | 0.74 ± 0.08 | 0.86 ± 0.12*** | -0.20 (-0.73; 0.34) | 11/40/50 No Claro |
| CMJ (cm) | 36.8 ± 4.6 | 38.4 ± 4.7** | 34.2 ± 4.5 | 36.7 ± 5.0*** | 0.18 (-0.10; 0.46) | 45/54/1 Posiblemente |
| T10 (s) | 1.74 ± 0.07 | 1.76 ± 0.07 | 1.78 ± 0.07 | 1.79 ± 0.09 | 0.22 (-0.23; 0.67) | 53/41/6 No Claro |
| T10-20 (s) | 1.27 ± 0.06 | 1.28 ± 0.07 | 1.29 ± 0.06 | 1.30 ± 0.06 | 0.13 (-0.13; 0.39) | 33/65/2 Posiblemente |
| T20 (s) | 3.02 ± 0.12 | 3.05 ± 0.12* | 3.07 ± 0.12 | 3.08 ± 0.13 | 0.15 (-0.13; 0.43) | 38/60/2 Posiblemente |

Los datos son expresados como media ± desviación típica. IC 90%: Intervalo de Confianza al 90%. **GCA:** Grupo de Carga Alta (n = 16). **GCB:** Grupo de Carga Baja (n = 16). **1RM:** Una repetición máxima. **VMP:** Velocidad media alcanzada con las cargas absolutas comunes en el Test 1 y en el Test 2 en el test de cargas progresivas. **VMP_{≥1}:** Velocidad media con las cargas absolutas que se desplazaron a una velocidad igual o superior a 1 m·s⁻¹ durante el Test 1. **VMP_{<1}:** Velocidad media con las cargas absolutas que se desplazaron a menos de 1 m·s⁻¹ durante el Test 1. **CMJ:** Altura en el salto con contramovimiento. **T10:** Tiempo en recorrer a sprint 10 m. **T10-20:** Tiempo en recorrer a sprint el intervalo de 10 – 20 m. **T20:** Tiempo en recorrer a sprint 20 m. Diferencias significativas intra-grupo: * P ≤ 0.05; ** P ≤ 0.01; *** P ≤ 0.001.

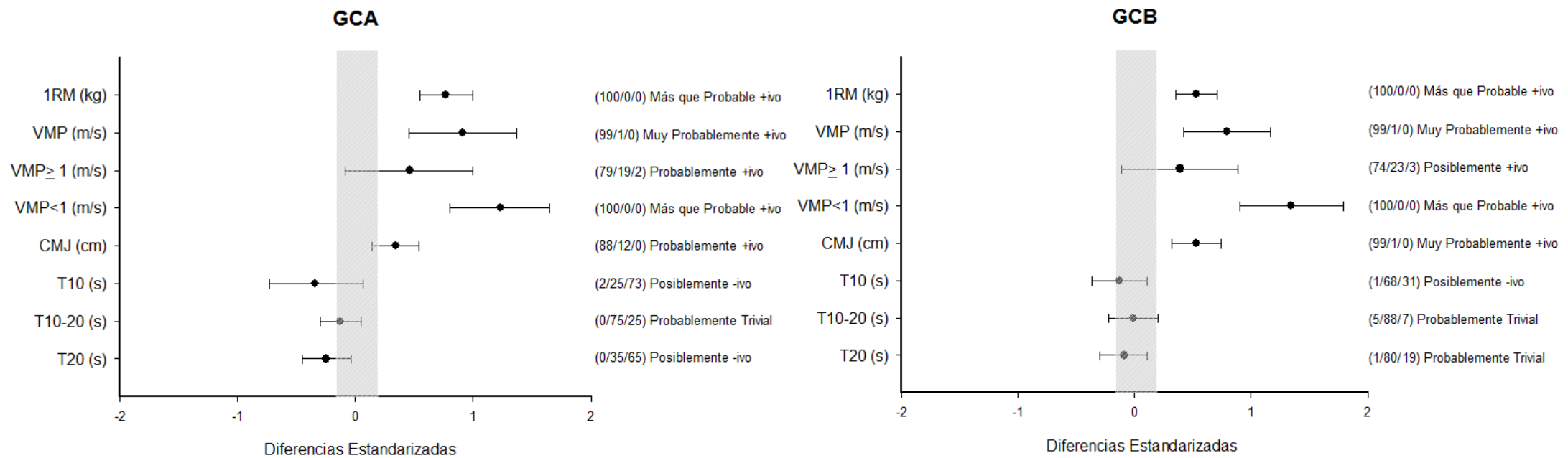


Figura 7. Tamaños del efecto intra-grupo en los ejercicios de sentadilla completa, salto vertical y carrera de 20 m. **GCA:** Grupo de carga alta (A) (n = 16). **GCB:** Grupo de carga baja (B) (n=16).

4.4 Discusión

Según nuestro conocimiento, éste es el primer estudio en el que se compararon los efectos producidos por dos entrenamientos de fuerza con el mismo volumen y distinta intensidad relativa, medida diariamente a través de la velocidad de ejecución con un ajuste diario de la carga de entrenamiento, sobre el rendimiento en la fuerza de los miembros inferiores, el salto vertical y la capacidad de sprint. Este control diario de la velocidad real de entrenamiento garantizó que el esfuerzo programado se cumpliera en cada sesión de entrenamiento y, por lo tanto, aseguró que cada sujeto estuviera entrenando a la intensidad que se había programado previamente. Además, el conocimiento de la velocidad de ejecución en cada repetición nos dio información sobre el grado de fatiga en la serie, expresada a través de la pérdida de velocidad, que supone la realización de un número determinado de repeticiones ante cada intensidad de entrenamiento.

Los resultados de este estudio confirman la primera de las hipótesis propuestas acerca de los efectos del entrenamiento sobre la mejora de la fuerza con independencia de las cargas utilizadas. En relación con la segunda hipótesis, los resultados obtenidos la confirman parcialmente, ya que se ha observado una mejora del rendimiento en el salto vertical para ambos grupos de entrenamiento. Sin embargo, en lo que respecta a la mejora de la capacidad de sprint en 20 metros, no se ha producido un cambio significativo positivo en el grupo de cargas bajas, pero sí un efecto negativo significativo en el grupo de cargas altas, produciéndose en este grupo un efecto contrario a lo que se esperaba inicialmente.

En el análisis de las repeticiones realizadas (**Tabla 4**) se observó que el entrenamiento realizado por el grupo de carga baja produjo una pérdida de velocidad en la serie menor con respecto a la pérdida experimentada por el grupo de carga alta en el ciclo de entrenamiento (10.0 vs. 19.3%). Sánchez-Medina y González-Badillo (2011) observaron en una serie de esfuerzos, que cuando se realizaba la mitad de las repeticiones posibles ante cada carga en el ejercicio de sentadilla completa, la pérdida de velocidad era de un 20% aproximadamente. Estos datos indican que el grupo de carga alta entrenó con un carácter del esfuerzo o grado de esfuerzo medio por serie mayor que el grupo de carga baja. Esto quiere decir que el grado de esfuerzo realizado

por los dos grupos en la mayoría de las series (sesiones) ha sido distinto, lo cual podría servir para explicar algunos de los resultados que discutiremos a continuación.

Efectos sobre la RM, VMP, $VMP < 1$ y $VMP \geq 1$. Tras la realización del entrenamiento de fuerza, tanto el grupo de carga baja como el grupo de carga alta obtuvieron mejoras similares en la fuerza dinámica máxima, expresada como la estimación de 1RM a través de la velocidad de ejecución, así como en la VMP y en la $VMP < 1$. Adicionalmente, este es el primer estudio en el que se analizó la evolución de la RM estimada en dos grupos de entrenamiento de fuerza con distintas intensidades, en el que se pudo observar que ambos grupos de entrenamiento siguieron una evolución positiva hacia la mejora de la fuerza, existiendo en la mayoría de los casos una mejora estadísticamente significativa con respecto al pre-test. Por lo tanto, el entrenamiento con cargas altas no ofreció mayores efectos sobre la mejora en estas variables con respecto al producido por el entrenamiento con cargas bajas.

Tradicionalmente se ha considerado como entrenamiento típico para la mejora de la fuerza la utilización de cargas de más del 70% y especialmente más del 90% de 1RM (Ratamess, Alvar, Evetoch et al., 2009). Sin embargo, en nuestro estudio no se confirma esta tendencia ya que las cargas bajas permitieron conseguir resultados semejantes. Esta falta de superioridad de las cargas altas podría estar en relación con el hecho de que el entrenamiento con estas intensidades alcanzó una fatiga excesiva y una velocidad media de ejecución claramente inferior a la del grupo de cargas bajas, aunque en ambos casos las cargas se desplazaron a la máxima velocidad posible. Esto significaría que aunque es probable que con las cargas altas se hayan reclutado las unidades motoras más rápidas (con fibras de tipo II) (Heeneman et al., 1965), también se ha conseguido este reclutamiento realizando cada repetición a la máxima velocidad con cargas ligeras (Desmedt y Godaux, 1977; Van Cutsem, Duchateau & Hainaut, 1998), que además implica un aumento significativo de la activación neural (Hakkinen y Komi, 1985).

Los resultados del presente estudio están en línea con los observados por otros trabajos en los que se compararon los efectos de la aplicación de diferentes intensidades sobre la mejora de la fuerza (Schmidtbleicher & Haralambie., 1981; Mora-Custodio et al., 2016; Campos et al., 2002). Schmidtbleicher y Haralambie (1981) mostraron una mejora de la RM en el ejercicio de press de hombros en dos grupos de entrenamiento tras la aplicación de un programa de 8 semanas y 4 sesiones a la semana con cargas altas (90 –

100% de 1RM y carácter del esfuerzo máximo) frente a otro de cargas bajas (30% de 1RM y 7 repeticiones por serie), no encontrándose diferencias entre grupos. Sin embargo, en este estudio no se igualó el volumen de entrenamiento en ambos grupos, por lo que los resultados obtenidos no serían atribuibles únicamente al efecto de la intensidad. Mora-Custodio et al., (2016) encontraron una mayor mejora en la fuerza dinámica máxima en el grupo que entrenó con cargas bajas (40 – 60% de 1RM) con respecto al grupo de cargas altas (65 – 80% de 1RM). Las discrepancias entre este estudio y el nuestro en relación con los resultados en la repetición máxima podrían deberse en parte a la distinta intensidad utilizada en el grupo de cargas altas y a una menor experiencia de las mujeres, según se describe en el estudio con respecto a los participantes en nuestro estudio. En el estudio de Campos et al., (2002) se compararon los efectos de tres tipos de entrenamiento en función de la intensidad, realizando el número máximo de repeticiones que permitía cada carga (3 – 5RM en un grupo, 9 – 11RM en otro grupo y 20 – 28RM en el tercer grupo). Los tres grupos de entrenamiento mejoraron su fuerza máxima (1RM) en los ejercicios entrenados (prensa de piernas, sentadilla y extensión de rodilla), y estas mejoras fueron significativamente superiores en el grupo de carga alta (3 – 5RM) con respecto a los otros dos grupos. Aunque los resultados de este estudio parecen indicar que las intensidades altas, equivalentes al 85 – 90% de 1RM (3 – 5RM), tienden a producir mejores resultados, realmente en este estudio el grado de esfuerzo o grado de fatiga generado fue mucho mayor ante las cargas bajas e intermedias que ante las cargas altas, dado que ante las cargas bajas e intermedias la pérdida de velocidad en la serie fue muy superior (mayor velocidad inicial que en el grupo de cargas altas y la misma velocidad final). Esto significa que las diferencias observadas en los resultados del entrenamiento no se pueden considerar que se deban a la intensidad relativa utilizada, ya que los índices de esfuerzo (González-Badillo, Sánchez-Medina, Pareja-Blanco, et al., 2017) fueron muy diferentes.

Con respecto a la mejora experimentada en la velocidad media con las cargas comunes de ambos test, así como con aquellas cargas desplazadas a una velocidad $<1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, el grupo de carga baja mejoró en la misma medida que el grupo de carga alta. Este hecho sugiere que ante sujetos de las características de los incluidos en este estudio no sería necesario entrenar con cargas altas para mejorar la aplicación de fuerza en la zona de alta carga y baja velocidad de la curva fuerza-velocidad. Estos resultados podrían justificarse por una mejora de los factores neurales al realizar las repeticiones con la

intención de desplazar la carga a la máxima velocidad (Desmedt & Godaux, 1977; Duchateau & Enoka, 2011). Sin embargo, la velocidad media con las cargas desplazadas a una velocidad $\geq 1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ no aumentó de manera significativa en ninguno de los dos grupos. Una posible explicación a la ausencia de mejora ante las cargas ligeras podría ser el menor margen de mejora que tiene la capacidad de producir fuerza ante estas cargas al depender, en mayor medida, de la velocidad absoluta de acortamiento de la fibra muscular, mientras que la mejora de la velocidad ante cargas más altas depende en mayor medida de la fuerza máxima (Verkhoshansky, 1986 en González-Badillo y Ribas, 2002).

Efectos sobre la capacidad de salto vertical (CMJ). Tanto el grupo de carga baja como el de carga alta obtuvieron una mejora del salto tras el programa de entrenamiento ($P < 0.001$ y $P < 0.01$, respectivamente). Las inferencias basadas en la magnitud del cambio mostraron un *posiblemente* mejor efecto a favor del grupo de carga baja (45/54/1). Por lo tanto, estos resultados indican que el entrenamiento con cargas bajas podría producir mejoras similares, o incluso superiores, a las que ofrece el entrenamiento de carga alta en la mejora del salto vertical. Estos resultados podrían venir explicados por la especificidad de la velocidad del entrenamiento, ya que el grupo de carga baja entrenó a una velocidad media superior que el de carga alta y, por lo tanto, más cercana a la velocidad de un salto sin carga. Por otro lado, la mejora experimentada por ambos grupos de entrenamiento podría estar relacionada con un mayor efecto sobre los factores neurales, debido, en parte, a la intención de desplazar la carga a la máxima velocidad (Hakkinen y Komi, 1985), hecho este fundamental para obtener los mayores beneficios que puede ofrecer cada carga, tal y como se ha observado recientemente (Pareja-Blanco et al., 2014; González-Badillo et al., 2014). Otro de los factores determinantes que podría haber influido en la mejora del salto vertical es que probablemente la pérdida de velocidad alcanzada en cada uno de los grupos no fuera lo suficientemente elevada como para comprometer la aplicación de fuerza en la unidad de tiempo en el CMJ. Por último, es importante destacar que la biomecánica del gesto entrenado es muy similar al salto vertical, realizándose en el mismo plano, con una triple extensión de cadera, rodilla y tobillo por lo que también influiría en gran medida en la mejora de esta variable.

Estos resultados están de acuerdo con los obtenidos en el estudio de Wilson et al., (1993), en el que también se compararon los efectos de un entrenamiento de carga alta frente a uno de carga baja. Los autores observaron una mejora del CMJ en ambos grupos de entrenamiento, con un porcentaje de cambio mayor a favor del grupo de carga baja. Sin embargo, estos resultados, aunque no son comparables con los obtenidos en nuestro estudio con respecto a las intensidades utilizadas, ya que el grupo de carga alta entrenó en el ejercicio de sentadilla con un carácter del esfuerzo máximo (6 – 10RM), mientras que el grupo de carga baja lo hizo en el ejercicio de salto con carga (30% de la FIM) sin especificar el número de series ni repeticiones, sí viene a apoyar los resultados de nuestro estudio al haber obtenido mayor rendimiento con la aplicación de la carga más baja y la que ocasiona menor fatiga. En la misma línea, y con un protocolo de entrenamiento similar, en el estudio de Cormie et al. (2010) se observó una mejora del salto vertical tanto en el grupo de cargas bajas, que entrenó el ejercicio de salto con carga con intensidades entre el 0 y el 30% de 1RM en ½ sentadilla y un número de series entre 5 y 7 con 5 a 6 repeticiones por serie, como en el grupo de cargas altas, que entrenó el ejercicio de ½ sentadilla con intensidades del 75 al 90% de 1RM, realizando 3 series de 4 a 6 repeticiones por serie, con un carácter del esfuerzo medio o medio-alto. Estos resultados también refuerzan los obtenidos en nuestro estudio, ya que aunque el entrenamiento con carga baja se realizó en el ejercicio de salto con carga, sí muestra una misma tendencia en el sentido de que no es necesario el entrenamiento con cargas altas para la mejora del salto vertical. En otro estudio llevado a cabo por Mora-Custodio et al. (2016), en el que se entrenó de una manera muy similar a nuestro estudio pero sin un control diario de la velocidad de ejecución, con dos grupos de entrenamiento divididos en carga baja (40 – 60% de 1RM) y carga alta (60 – 80% de 1RM) que realizaron el ejercicio de sentadilla completa, los autores observaron que tanto el grupo de carga baja como el grupo de carga alta mejoraron su salto vertical de manera significativa, mostrando incluso una interacción grupo x tiempo a favor del grupo de carga baja.

Por lo tanto, los resultados observados en los estudios que han comparado los efectos de aplicar dos tipos de entrenamiento de fuerza diferentes (carga baja vs. carga alta) coinciden con los obtenidos en nuestro estudio al observar que el entrenamiento con cargas altas no aporta un mejor rendimiento en el salto vertical con respecto a los efectos que aporta el entrenamiento de carga baja, por lo que la aplicación de un entrenamiento de cargas bajas y un número bajo de repeticiones probablemente

ofrecería una mejora del rendimiento sin la necesidad de entrenar con intensidades más elevadas o con un carácter del esfuerzo mayor.

Adicionalmente, este es el primer estudio en el que se llevó a cabo un control diario del salto vertical con el objetivo de conocer el comportamiento que seguiría esta variable a lo largo del ciclo de entrenamiento. En la evolución diaria se observó que el grupo de carga baja obtuvo un mejor rendimiento en todas las sesiones del ciclo y, aunque no se observaron diferencias significativas entre grupos en ninguna de las sesiones, en 6 de las 12 sesiones de entrenamiento el único grupo que obtuvo una mejora estadísticamente significativa con respecto al pre-test fue el de cargas bajas. Este comportamiento vendría a confirmar que, la tendencia a obtener un mejor resultado en el salto entrenando con cargas bajas, es decir, con velocidades absolutas mayores, y realizadas a la máxima velocidad posible, se mantiene durante toda la duración del ciclo de entrenamiento, lo que puede aportar una mejora del rendimiento en este ejercicio y en el rendimiento específico para muchas especialidades desde las primeras sesiones del entrenamiento de fuerza.

Efectos sobre la capacidad de sprint (0 – 20m). Los resultados de este estudio no mostraron una mejora en el sprint en 20 metros ni en ninguno de sus parciales (T10 y T10-20) tras la aplicación de un entrenamiento de fuerza con cargas bajas o altas. Sin embargo, es importante destacar que sí se observó un aumento significativo del tiempo en 20 metros, y por lo tanto peor rendimiento, en el grupo de cargas altas con respecto al pre-test, por lo que este tipo de entrenamiento no sólo no fue capaz de mejorar el rendimiento en esta prueba, sino que lo empeoró significativamente. Estos resultados podrían venir explicados, en cierta medida, por la biomecánica del ejercicio realizado en el entrenamiento de fuerza, ya que, aunque existen algunos trabajos que muestran una alta relación entre la fuerza máxima en el ejercicio de sentadilla y la capacidad de sprint (Wisloff et al., 2004), el entrenamiento de fuerza en nuestro estudio únicamente incluyó el ejercicio de sentadilla completa, sin la realización de ningún otro ejercicio de características biomecánicas similares. Por otro lado, el número de repeticiones realizado por el grupo de carga alta a baja velocidad, acompañado de una pérdida de velocidad en la serie del 20%, conllevaría un nivel de fatiga en el entrenamiento que podría haber comprometido la aplicación de fuerza en la unidad de tiempo en el desplazamiento horizontal y, aunque en el salto vertical no se observó esta limitación al

entrenar el ejercicio en el mismo plano que la variable evaluada, sí podría haber limitado la aplicación de fuerza en el sprint, resultando en una disminución del rendimiento en esta prueba.

En línea con el presente estudio, Blazeovich et al. (2002) observaron un aumento del tiempo en el sprint de 20 metros en dos grupos de entrenamiento. Uno de ellos realizó un entrenamiento de carga alta y baja velocidad (70 – 90% de 1RM) mientras que el otro entrenó con cargas bajas (30 – 50% de 1RM) en el ejercicio de sentadilla y algunos ejercicios de flexo-extensión de cadera y rodilla. Adicionalmente, McBride et al. (2002) mostraron que el entrenamiento de fuerza con cargas bajas (30% de 1RM) no produjo una mejora significativa, pero sí una tendencia hacia la mejora, en el sprint en 10 y 20 metros, mientras que el entrenamiento de cargas altas (80% de 1RM) sí mostró un aumento significativo, y por lo tanto peor rendimiento, del sprint tanto en 10 como en 20 metros, aunque el ejercicio realizado fue el salto con carga.

Por otro lado, en controversia con los resultados del presente estudio, Mora-Custodio et al. (2016), sí observaron mejoras en el tiempo en 10, 10-20 y 20 metros en el grupo de carga baja, así como en 10 y 20 metros en el grupo de carga alta. Estas diferencias encontradas con respecto al presente estudio podrían deberse al bajo nivel de rendimiento inicial que presentaban las mujeres con las que se realizó la investigación, tanto en la fuerza en las piernas (41.8 y 43.8 kg de RM) como en el sprint (1.97 y 2.07 en 10 metros, y 3.65 y 3.61 en 20 metros para el grupo de carga baja y el grupo de carga alta, respectivamente), por lo que la reducción del tiempo en esta variable podría producirse fácilmente tras la aplicación de un programa de entrenamiento de fuerza. Por otro lado, en el mencionado estudio no se midió la velocidad de ejecución en todas las repeticiones, por lo que probablemente ambos grupos habrían estado entrenando con intensidades menores a las que se programaron inicialmente, dada su mejora en la RM al final del periodo de entrenamiento, hecho que habría sido positivo para la mejora de todas las variables y que justificaría, en parte, los resultados observados. Por último, la diferencia en la duración del ciclo de entrenamiento (12 vs. 6 semanas), podría haber favorecido una evolución más progresiva de la carga, probablemente sin llegar a una fatiga tan acusada como la observada en nuestro estudio y que, además, permitiría realizar una pequeña fase de “tapering”, tal y como realizaron estos autores.

Por lo tanto, en relación con el rendimiento en el sprint, nuestros resultados sugieren que las cargas bajas realizadas con un ejercicio no específico para el sprint, como es la sentadilla completa, no interfiere en el rendimiento en la carrera de 20 m, pero sí lo hace la utilización de cargas altas.

4.5 Conclusiones

1.- Ante un mismo volumen, el entrenamiento de fuerza a través del ejercicio de sentadilla completa con cargas bajas (40 – 60% de 1RM) ofrece mejoras similares a las producidas por el entrenamiento con cargas altas (70 – 90% de 1RM) sobre las variables relacionadas con la fuerza de las piernas (1RM, VMP, $VMP \geq 1$ y $VMP < 1$) y el salto vertical (CMJ).

2.- El entrenamiento de fuerza a través del ejercicio de sentadilla completa con cargas bajas (40 – 60% de 1RM) no ha producido un cambio significativo en la capacidad de sprint en 20 metros, mientras que el entrenamiento de fuerza con cargas altas (70 – 90% de 1RM) ha producido un aumento del tiempo, y por lo tanto una reducción del rendimiento en el sprint de 20 metros.

3.- Una mayor fatiga, expresada a través de la pérdida de velocidad en la serie, producida por el entrenamiento de carga alta, no ha proporcionado mayor rendimiento en ninguna de las variables analizadas.

4.6 Aplicaciones Prácticas

Los resultados de nuestro estudio sugieren que es suficiente, y por lo tanto recomendable, entrenar con cargas bajas (40 – 60% de 1RM) y un número bajo de repeticiones (pérdida de velocidad en la serie menor), en el ejercicio de sentadilla completa, si el objetivo del entrenamiento es la mejora del salto vertical y la fuerza en las piernas.

5. ESTUDIO II. Efectos del entrenamiento de fuerza con cargas altas o bajas sobre el rendimiento en el salto vertical, el sprint, la fuerza en sentadilla, la respuesta hormonal y la pérdida de salto vertical en la sesión.

5.1 Planteamiento del Problema

A la hora de realizar la programación de un entrenamiento, además de manipular las variables que lo definen en base a los objetivos que nos hemos marcado previamente, lo que estamos haciendo realmente es aplicar una serie de esfuerzos que producen una fatiga determinada en el organismo, es decir, estamos programando la fatiga que producirá un entrenamiento para conocer su efecto sobre el rendimiento físico específico. Tradicionalmente, en el entrenamiento de fuerza la fatiga se ha evaluado a través de variables mecánicas, pero también a través del estrés metabólico y hormonal, analizando la respuesta tanto aguda como crónica que tiene la aplicación de una serie de cargas u otras sobre las hormonas sanguíneas (Kraemer & Ratamess, 2005). Sin embargo, gracias a la posibilidad de controlar la carga de entrenamiento a través de la velocidad de ejecución, actualmente podemos medir de manera muy precisa la fatiga a través de la pérdida de velocidad en una serie o sesión de entrenamiento (Pareja-Blanco, Rodriguez-Rosell, Sanchez-Medina, Sanchis-Moysi, et al., 2016; Sanchez-Medina & Gonzalez-Badillo, 2011). Además, otra de las variables que nos permitiría conocer, por una parte el efecto de la aplicación de un tipo de entrenamiento y, por otra, la fatiga que provocaría en cada sujeto cada sesión de entrenamiento sería la altura del salto vertical (Gonzalez-Badillo et al., 2016; Pareja-Blanco, Rodriguez-Rosell, Sanchez-Medina, Ribas-Serna, et al., 2016).

En cuanto a la respuesta hormonal al entrenamiento de fuerza, parece ser que los valores sanguíneos de testosterona, hormona del crecimiento (GH), somatomedina-C (IGF-1) y cortisol se ven alterados en mayor o menor medida en función de la intensidad y número de repeticiones realizado en el entrenamiento. Así, la mayoría de los estudios muestran un aumento agudo en las concentraciones de testosterona, GH y cortisol que está muy relacionado con el esfuerzo realizado en el entrenamiento, con valores más altos de estas hormonas cuando se realiza un entrenamiento encaminado a la hipertrofia muscular, con cargas intermedias y con un alto volumen de entrenamiento. En lo que respecta a la respuesta de la IGF-1, parece no haber un consenso claro en la literatura con respecto a su respuesta post entrenamiento, pues aunque en la mayoría de los

estudios no se observan aumentos crónicos de esta hormona, parece ser que podría deberse a una liberación tardía en relación a la observada en el resto de hormonas (Kraemer & Ratamess, 2005). En cuanto a la respuesta crónica de estas hormonas, parece existir algo más de consenso en los resultados, no observándose una alteración de sus valores crónicos de reposo tras la aplicación de un programa de entrenamiento, aunque hay algunos estudios que muestran un aumento de la testosterona tras 11 semanas de entrenamiento de fuerza con cargas ligeras (Gorostiaga et al., 2004), otros que observaron una disminución del cortisol debido a un estado de sobreentrenamiento (Raastad, Bjoro, & Hallen, 2000; Raastad, Glomsheller, Bjoro, & Hallen, 2001), así como otros que sugieren que un aumento en el número de semanas del ciclo de entrenamiento daría lugar a unos niveles basales de IGF-1 superiores a los observados antes del ciclo de entrenamiento (Borst et al., 2001; Marx et al., 2001).

Por otro lado, cabe destacar que en los estudios analizados para medir la fatiga a través de variables mecánicas y hormonales se realizan protocolos de entrenamiento con cargas altas (>70% de 1RM) y con volúmenes de entrenamiento en los que se entrena hasta el fallo muscular o hasta la mitad de las repeticiones que permite realizar una carga. Por lo tanto, ante esta falta de consenso estaríamos en disposición de formular uno o varios problemas de investigación. En nuestro caso serían:

1. ¿Qué efecto tiene un mismo volumen de entrenamiento de fuerza con cargas altas (70 – 90% de 1RM) frente al entrenamiento con cargas bajas (40 – 60% de 1RM) en el ejercicio de sentadilla completa sobre el salto vertical, la capacidad de sprint y la fuerza en las piernas, y cuál es su relación con el grado de fatiga generado por el entrenamiento, determinado por la pérdida de velocidad en cada serie y la pérdida de salto en cada sesión de entrenamiento?
2. ¿Qué efectos crónicos tiene el entrenamiento de fuerza con cargas altas (70-90% de 1RM) frente al entrenamiento con cargas bajas (40-50% de 1RM) en el ejercicio de sentadilla sobre los valores basales de testosterona, GH, IGF-1 y cortisol?

5.1.1 Objetivos de la investigación

En relación con los problemas planteados, se proponen los siguientes objetivos:

1. Replicar el estudio I para comprobar si se producen efectos semejantes en la fuerza, el salto vertical y el sprint ante una muestra distinta pero de características similares.
2. Analizar los efectos de las cargas indicadas en el primer estudio (40-60% frente a 70-90% de la RM) en función de la pérdida de velocidad en la serie y en el salto vertical después de cada sesión.
3. Comprobar si se produce un efecto crónico sobre los valores basales de testosterona, GH, IGF-1 y cortisol.

5.1.2 Hipótesis

Tras la revisión de los pocos estudios que analizan la fatiga a través de variables mecánicas tras la aplicación de un entrenamiento de fuerza de carga alta llevado hasta el fallo muscular o hasta la mitad de las máximas repeticiones realizables, podemos esperar que en nuestro estudio el grupo de carga alta acuse una fatiga mayor que el grupo de carga baja debido a la menor diferencia entre el número de repeticiones realizadas y las realizables, por lo que la pérdida de velocidad en la serie y la pérdida de salto en cada sesión de entrenamiento serían mayores para el grupo de carga alta, no habiendo encontrado estudios que analicen la fatiga de este modo en el entrenamiento con cargas bajas y pocas repeticiones por serie. Sin embargo, se ha observado que una determinada pérdida de velocidad en la serie ante unas mismas intensidades relativas proporciona mejor efecto sobre el rendimiento físico que el doble de pérdida (Pareja-Blanco et al., 2016). Por tanto, es probable que exista una relación curvilínea entre la fatiga generada en las sesiones de entrenamiento y el rendimiento a corto y a medio plazo. Por otro lado, en relación a los estudios que analizan la respuesta hormonal al entrenamiento de fuerza, parece ser que la aplicación de un entrenamiento con cargas altas produciría un efecto agudo sobre las concentraciones de testosterona, GH, IGF-1 y cortisol, viendo aumentadas sus concentraciones tras el entrenamiento, sin embargo, la respuesta crónica parece que no experimentaría cambios tras la aplicación de este tipo de entrenamiento (Kraemer & Ratamess, 2005). En relación a la carga baja, el único

estudio que habla sobre los efectos que produciría este tipo de entrenamiento en la respuesta hormonal muestra un aumento crónico de la testosterona tras 11 semanas de entrenamiento, produciéndose este aumento a partir de la semana 4 (Gorostiaga et al., 2004). Dado que la respuesta hormonal crónica no parece darse después de distintos tipos de entrenamiento y que no hay una explicación suficiente sobre las causas que determinan la respuesta hormonal a largo plazo, en lo que respecta al estudio que se presenta a continuación, sólo podemos tomar como referencia para justificar nuestra hipótesis los pocos estudios encontrados en la literatura. Según estos estudios, es probable que no nos encontremos un efecto crónico ante las cargas altas. Por otra parte, en el único estudio en el que hemos encontrado una tendencia a aumentar la testosterona al final del ciclo de entrenamiento, se realizó con una carga muy inferior a las utilizadas en nuestro estudio incluso con cargas bajas, y además los sujetos eran deportistas muy habituados al entrenamiento. Por tanto, es probable que al final del periodo de entrenamiento no se observen diferencias significativas en los valores basales de las hormonas estudiadas. Así, nuestras hipótesis son las siguientes:

Hipótesis 1: Ante un mismo volumen, el entrenamiento de fuerza con cargas bajas (40-60% de la RM) proporciona un mayor efecto positivo sobre el salto vertical y la capacidad de sprint que el entrenamiento realizado con cargas altas (70-90% de la RM), y un efecto similar sobre la fuerza en sentadillas.

Hipótesis 2: La respuesta en el rendimiento físico a corto plazo (24-72 horas) presenta una relación curvilínea con la pérdida de velocidad en la serie y la pérdida de salto en la sesión previa

Hipótesis 3: El entrenamiento de fuerza con las cargas utilizadas en nuestro estudio no modifica las concentraciones basales de testosterona, cortisol, GH ni IGF-1.

5.2 Metodología

5.2.1 Tipo de Investigación

La metodología del presente estudio queda determinada por el tipo de investigación, así como por los objetivos de la misma, la naturaleza de las variables y el nivel de control sobre las mismas. Dadas las características de los datos, el estudio que se presenta forma parte de una investigación cuantitativa, en el que por el grado de manipulación de las variables y los objetivos del mismo se incluye dentro de una investigación experimental. Por el enfoque en el análisis de los datos, la investigación es de tipo inferencial, además de tener un carácter longitudinal por el estudio de la evolución en la relación entre los cambios mecánicos y el rendimiento en el tiempo.

5.2.2 Diseño del Estudio

La presente investigación fue diseñada en un intento de explicar el efecto del entrenamiento de fuerza con cargas altas (GCA) o cargas bajas (GCB) sobre la capacidad de sprint, el salto, la fuerza en los miembros inferiores, la respuesta hormonal crónica y la pérdida de salto vertical tras cada sesión de entrenamiento.

Para ello se formaron dos grupos equivalentes en fuerza relativa (1RM en relación al peso corporal, “1RMPC”: 124.3 vs. 121.2% en GCA y GCB, respectivamente), que entrenaron durante 6 semanas en el ejercicio de sentadilla completa (SQ), con una frecuencia de 2 sesiones semanales, con el mismo número de repeticiones para ambos grupos contando tanto el calentamiento como el entrenamiento, diferenciándose en la intensidad relativa de entrenamiento, es decir, entrenando en rangos de velocidad distintos (GCB: 40 – 60% 1RM; 1.28 – 0.98 m·s⁻¹ vs. GCA: 70 – 90% 1RM; 0.84 – 0.51 m·s⁻¹). Adicionalmente se realizó un estudio complementario con el objetivo de describir las respuestas mecánicas de cada sesión de entrenamiento.

Los test de evaluación se realizaron en la semana previa a la semana 1 de entrenamiento y los post-test en la semana posterior a la semana 6 de entrenamiento. Las sesiones fueron realizadas en espacios de 1 hora y media durante todo el día, siendo estos horarios fijos para cada grupo de sujetos a excepción de algunos casos puntuales. Tanto los test como los entrenamientos se realizaron bajo unas condiciones medioambientales similares (20-22°C y 55-65% humedad).

5.2.3 Sujetos

Cuarenta y dos varones, jóvenes y físicamente activos, realizaron los test iniciales para su posterior atribución a uno de los dos grupos de entrenamiento (GCA: Grupo de carga alta o GCB: Grupo de carga baja). La asignación de los sujetos a cada grupo de entrenamiento se realizó de manera aleatoria siguiendo una secuencia del tipo ABBA. Tras este reparto el GCA contó con 21 sujetos, mientras que el GCB se compuso por otros 21.

Las características de los sujetos se muestran en la **Tabla 6**. Durante la duración del presente estudio, ninguno de los sujetos realizó ningún otro tipo de entrenamiento específico de fuerza ni participó en alguna especialidad deportiva de manera sistemática.

Tabla 6. Características de los grupos experimentales. Media \pm desviación típica (dt).

| GRUPO | Edad (años) | Altura (m) | Peso (kg) |
|-------|----------------|-----------------|-----------------|
| GCA | 22.7 \pm 2.3 | 1.78 \pm 0.06 | 75.6 \pm 11.0 |
| GCB | 23.6 \pm 1.8 | 1.78 \pm 0.04 | 71.9 \pm 8.1 |

*GCA: Grupo de cargas altas (n = 21). GCB: Grupo de cargas bajas (n = 21)

5.2.4 Variables Objeto de Estudio

5.2.4.1 Variables Independientes

- La variable independiente del presente estudio fue la carga de entrenamiento, comparando dos rangos de intensidades relativas: “Carga Alta de Entrenamiento” (70 - 90% 1RM) vs. “Carga Baja de Entrenamiento” (40 - 60% 1RM).

5.2.4.2 Variables Dependientes

- Variables relacionadas con el rendimiento físico

- Fuerza dinámica máxima estimada en el ejercicio de sentadilla completa (1RM), en kg.

- Media de la velocidad media propulsiva de las cargas comunes en ambos tests para el ejercicio de sentadilla completa (VMP), en $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.
- Media de la velocidad media propulsiva de las cargas comunes en ambos tests que podían ser desplazadas a una velocidad igual o superior a $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ en el Pre-test para el ejercicio de sentadilla completa ($\text{VMP}\geq 1$), en $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.
- Media de la velocidad media propulsiva de las cargas comunes en ambos tests cuya velocidad máxima fue inferior a $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ en el pre-test para el ejercicio de sentadilla completa ($\text{VMP}<1$), en $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.
- Altura alcanzada en el salto con contramovimiento (CMJ), en cm.
- Media de la velocidad máxima de las cargas comunes en ambos tests para el ejercicio de salto con carga (CMJc), en $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.
- Tiempo empleado en recorrer la distancia de 10 metros a la máxima velocidad (T10), en s.
- Tiempo empleado en recorrer la distancia de 20 metros a la máxima velocidad (T20), en s.
- Tiempo empleado en recorrer el parcial de 10 a 20 metros a la máxima velocidad (T10 – 20), en s.
- Tiempo empleado en recorrer la distancia de 30 metros a la máxima velocidad (T30), en s.
- Tiempo empleado en recorrer el parcial de 20 a 30 metros a la máxima velocidad (T20 – 30), en s.

- **Variables derivadas del análisis del entrenamiento realizado**

- **Mecánicas:**

- Velocidad media del ciclo de entrenamiento: velocidad media alcanzada durante el programa de entrenamiento realizado, cuantificando tan solo las repeticiones realizadas con la carga de

entrenamiento, es decir, excluyendo las repeticiones realizadas durante el calentamiento.

- Pérdida máxima de velocidad en cada sesión de entrenamiento: es la pérdida (%) de velocidad media propulsiva (VMP) entre la mejor repetición de la primera serie y la última repetición de la última serie.
- Pérdida media de velocidad en la serie: es la pérdida (%) de velocidad media propulsiva (VMP) entre la mejor repetición y la última de cada serie.
- Pérdida de altura en el salto vertical (CMJ): es la pérdida relativa (%) calculada tras realizar 3 saltos a la máxima intensidad antes e inmediatamente después, a los 15 y a los 30'' de la realización del ejercicio de sentadilla, calculándose la media de los 3 saltos post entrenamiento para la comparación con el salto previo al mismo.
- Índice de esfuerzo (IE): es un indicador objetivo del grado de fatiga alcanzado el cual se calcula a través del producto de la velocidad de la mejor repetición con la carga máxima de la sesión (intensidad relativa) por la pérdida media de todas las series realizadas en esa sesión.
- Total de repeticiones realizadas a diferentes velocidades a lo largo de todo el ciclo de entrenamiento: Es el número total de repeticiones realizado a lo largo de todo el programa de entrenamiento dentro de cada rango de VMP, divididos en intervalos de $0.10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Por ejemplo, el número de repeticiones realizado entre las velocidades de 0.70 y $0.80 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

- Hormonales:

- Concentración de testosterona total, cortisol, hormona del crecimiento (GH) y somatomedina C (IGF-1).

5.2.5 Procedimiento de evaluación

Todas las evaluaciones se realizaron durante el mismo día, en una sesión de una hora y media de duración. Entre la evaluación inicial (pre-test) y la evaluación final (post-test) transcurrieron 6 semanas de entrenamiento. Las mediciones se llevaron a cabo en el mismo orden y a la misma hora en cada grupo tanto en el pre-test como en el post-test. Antes del inicio de las evaluaciones los sujetos realizaron un calentamiento estandarizado dirigido por el investigador.

Las mediciones se presentan a continuación en el mismo orden en el que fueron llevadas a cabo durante el pre-test y el post-test:

Capacidad de sprint. Los sujetos realizaron 2 carreras de 20 metros sobre una superficie sintética en un recinto cubierto. La salida fue estandarizada, con la punta del pie colocada justo detrás de una línea de salida situada a 1 metro de la primera célula, pudiendo los sujetos comenzar la carrera cuando ellos quisieran, sin que hubiese ninguna señal de salida.

Para la medición del tiempo de carrera se colocaron 3 células fotoeléctricas (Polifemo Radio Light, Microgate, Bolzano, Italia) a los 0, 10 y 20 metros para registrar los tiempos parciales. Los sujetos realizaron un calentamiento estandarizado consistente en una carrera continua de 5 minutos, dos progresiones de 30 m, dos carreras de 20 m al 80-90% de la máxima velocidad estimada de carrera individual y dos aceleraciones de 10 m al 90% de la máxima velocidad estimada de carrera individual. Finalmente se realizaron dos intentos de 20 m con tres minutos de recuperación entre ellos, debiendo los sujetos recorrer la distancia en el menor tiempo posible. Los tiempos en las distancias de 0 a 10 m (T10), de 10 a 20 m (T10-20) y de 0 a 20 m (T20) fueron registrados. Los mejores tiempos en los dos intentos para cada distancia fueron utilizados para el análisis estadístico. Los valores de fiabilidad obtenidos en las variables de sprint se muestran en la **Tabla 7**.

Tabla 7: Coeficiente de correlación intraclase (CCI) y coeficiente de variación (CV) de las variables relacionadas con la capacidad de sprint.

| | T10m | T10-20m | T20m | T20-30m | T30m |
|---------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| CCI | 0.954 (0.915; 0.975) | 0.925 (0.861; 0.960) | 0.981 (0.965; 0.990) | 0.949 (0.905; 0.972) | 0.990 (0.982; 0.995) |
| CV (%) | 1.7 | 2.4 | 1.0 | 2.5 | 0.7 |

Salto con contramovimiento (CMJ). Para la medición de la altura del salto se utilizó una plataforma de infrarrojos (Optojump, Microgate, Bolzano, Italia). La altura del salto fue determinada a partir del tiempo de vuelo.

Los sujetos realizaron un calentamiento estandarizado consistente en la ejecución de 2 series de 5 y 3 CMJ respectivamente, en los que se iba aumentando progresivamente la altura del salto con respecto al máximo de cada sujeto, con dos minutos de recuperación entre series para, a continuación, realizar la medición. Los sujetos partían desde una posición erguida con las piernas extendidas y las manos sobre las caderas, realizando un movimiento de bajada hasta una posición de en torno a los 90° de flexión de rodilla inmediatamente seguida de una acción concéntrica explosiva con el objetivo de alcanzar la máxima altura de vuelo. Los sujetos fueron instruidos para mantener una posición vertical y las manos en la cadera durante el salto, además de flexionar las rodillas después de la recepción. Cada sujeto realizó 5 saltos máximos en la plataforma de infrarrojos, con un tiempo de recuperación de 30 segundos entre saltos. Para su posterior análisis se eliminó el mejor y el peor salto y se calculó la media de los 3 saltos restantes. Los valores de fiabilidad para el salto vertical fueron de: CCI (95% IC): 0.997 (0.995; 0.998); CV: 1.4%.

Salto con contramovimiento con cargas externas (CMJc). La ejecución técnica del salto fue similar a la del CMJ, pero en este caso los sujetos utilizaron una carga externa colocada sobre los hombros. Además dicho test se realizó en un pórtico guiado (Multipower Fitness Line, Peroga SL, Murcia, España). Para la medición de la velocidad máxima alcanzada en cada salto se ancló a la barra un sistema de transducción lineal de velocidad (T-ForceSystem, Ergotech, Murcia, Spain) que permitía la medición directa de esta variable durante el movimiento (González-Badillo, & Sánchez-Medina, 2010). El transductor fue conectado a un ordenador personal,

permitiendo, mediante un software especializado, el cálculo instantáneo de variables dinámicas y cinemáticas de cada repetición. Las muestras de velocidad lineal del movimiento fueron recogidas por este sistema de una forma instantánea con una frecuencia de 1000 Hz.

Para el análisis del rendimiento alcanzado en el salto con carga se utilizó la velocidad máxima alcanzada ante cada carga, ya que se ha demostrado recientemente que dicha variable es más sensible para detectar pequeños cambios en el rendimiento en comparación con la altura del salto estimada a través del tiempo de vuelo (Jiménez-Reyes et al., 2016).

Los sujetos comenzaron el test ejecutando un salto con una carga de 20 kg, a partir de la cual se añadían 10 kg de forma progresiva hasta que los sujetos no eran capaces de alcanzar una velocidad máxima superior a $2.50 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, lo cual equivale a alcanzar una altura en el salto de aproximadamente 20 cm. La recuperación entre cada serie se estableció en 2 minutos. Se determinó esta carga porque es considerada una carga suficientemente alta como para expresar el rendimiento de los sujetos en esta prueba. Adicionalmente, cargas superiores podrían aumentar el riesgo de lesión y han mostrado menores valores de fiabilidad (Viitasalo, 1985). El valor medio de la velocidad máxima alcanzada ante las cargas comunes en ambos tests (CMJc) fue utilizada para su posterior análisis.



Figura 8. Test de salto con contramovimiento con cargas externas

Test progresivo de sentadilla completa. Para la valoración de la fuerza de los miembros inferiores los sujetos realizaron el ejercicio de sentadilla completa con distintas cargas en un pórtico guiado (MultipowerFitness Line, Peroga SL, Murcia, España) a cuya barra fue conectado un sistema de transducción lineal de velocidad (T-ForceSystem, Ergotech, Murcia, Spain) que permitía la medición de la velocidad media durante la fase propulsiva (VMP) del movimiento en cada repetición. La fase propulsiva se corresponde con la parte de la fase concéntrica en la que la aceleración es mayor que la aceleración de la gravedad ($-9.81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$) (Sánchez-Medina et al., 2010). El transductor fue conectado a un ordenador personal, permitiendo, mediante un software especializado, el cálculo instantáneo de variables dinámicas y cinemáticas de cada repetición. Las muestras de velocidad lineal del movimiento fueron recogidas por este sistema de una forma instantánea con una frecuencia de 1000 Hz.

Para la correcta ejecución del ejercicio, los sujetos comenzaron en una posición erguida, con las rodillas y caderas completamente extendidas, los pies separados a la anchura de las caderas y la barra descansando sobre la espalda a lo largo de los hombros. Desde esa posición, cada sujeto descendía en un movimiento continuo hasta que la parte superior de sus muslos quedaba por debajo del plano horizontal y la parte posterior de los mismos tocaba con la parte posterior de los gemelos, en ese momento comenzaba la fase concéntrica, realizando la fase excéntrica a una velocidad controlada ($\sim 0.50 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) y la fase concéntrica a la máxima velocidad posible, aspecto éste fundamental para una correcta evaluación isoinercial de la fuerza y la potencia muscular (MacDougall et al., 1982). Tres minutos antes del inicio de las mediciones, se llevó a cabo un calentamiento realizando 6 repeticiones de sentadilla a una velocidad progresiva con una carga de 20 Kg. A continuación, se realizó un aumento progresivo la carga con aumentos de 10 kg hasta alcanzar una VMP $\leq 0.51 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, con tres minutos de recuperación entre cada carga. Se midió hasta esa velocidad ya que recientemente se ha demostrado que dicha velocidad se corresponde con el 90% de 1RM en el ejercicio de sentadilla (Sánchez-Medina et al. 2017), siendo esta la velocidad correspondiente a la carga más alta que se iba a utilizar durante el programa de entrenamiento en el grupo de carga alta. El número de repeticiones ejecutadas por cada sujeto con cada carga se determinó de acuerdo con la velocidad de la primera repetición. Con las cargas que se movían a una VMP $\geq 1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ se realizaron 4 repeticiones. Cuando el sujeto movía la carga a una VMP $< 1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ se realizaban 2 repeticiones, excepto para las cargas de VMP $\leq 0.7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, que se realizaba una única repetición. El mejor valor de VMP de cada serie se utilizó para su posterior análisis y la programación del entrenamiento (González-Badillo et al. 2014). Por último, también se registró la estimación de 1RM indicada por el propio software del transductor lineal de velocidad.

Análisis de muestras biológicas y determinaciones analíticas: Las extracciones de sangre para la determinación de las concentraciones hormonales se realizaron previamente antes del comienzo de la primera sesión de entrenamiento. Los sujetos permanecieron sentados durante 30 min antes de la extracción de sangre. Las muestras se extrajeron de la vena antecubital usando agujas de calibre 20 conectadas a vacutainers®. Las muestras pre (condición basal) se obtuvieron a la misma hora del día (± 15 min) que en el post-test para minimizar el error en los valores hormonales debido a los ritmos circadianos. La sangre fue centrifugada (Centrifuge 5417R, Eppendorf,

Hamburgo, Alemania) a 3000 rpm (4°C) durante 15 minutos. El suero resultante se retiró y almacenó a -20°C. Las muestras se analizaron por duplicado, descongeladas sólo una vez y decodificadas una vez los análisis se realizaron (i.e. procedimiento de análisis ciego). Las concentraciones de testosterona total, cortisol y GH se midieron usando inmuno-ensayos de electroquimioluminiscencia (ECLIA) (Elecsys 2010 autoanalyzer, Roche Diagnostics, Indianapolis, USA). La IGF-1 se analizó por ensayos inmuno-métricos de quimioluminiscencia (Immulite 2000 System, Siemens, Los Angeles, USA).



Figura 9. Extracción de las muestras de sangre

5.2.6 Entrenamiento

El ejercicio que se llevó a cabo a lo largo de las 6 semanas de entrenamiento y con una frecuencia de 2 sesiones a la semana fue la sentadilla completa (SQ). Dicho ejercicio se ejecutó siempre a una velocidad controlada en la fase de bajada y a la máxima velocidad en la fase concéntrica del movimiento, pues se ha demostrado recientemente que la intención de desplazar la carga a la máxima velocidad posible ofrece mejores posibilidades que desplazarla a una velocidad lenta (Pareja-Blanco et al., 2014). El volumen de entrenamiento fue igualado para los dos grupos, por lo que cada uno de ellos se diferenció únicamente en la intensidad realizada. Además, para la igualdad del volumen, también se contabilizaron las series y las repeticiones realizadas en el calentamiento. El GCB entrenó con cargas entre el 40 y el 60% de 1RM (VMP de 1.28 a 0.98 m·s⁻¹) y, por otro lado, GCA entrenó con cargas entre el 70 y el 90% de 1RM

(VMP de 0.84 a 0.51 m·s⁻¹). En la **Tabla 8** puede observarse una descripción detallada del entrenamiento programado.

Tabla 8. Entrenamiento de Fuerza para ambos grupos de entrenamiento

| Entrenamiento de Carga Baja (40 - 60% 1RM) | | Calentamiento | Entrenamiento |
|---|-----------|--|-------------------------|
| Semana 1 | Sesión 1 | | 3x6 (40% 1RM ~1.28 m/s) |
| | Sesión 2 | | 3x6 (40% 1RM ~1.28 m/s) |
| Semana 2 | Sesión 3 | 1x6 (40% 1RM ~1.28 m/s) | 3x6 (50% 1RM ~1.14 m/s) |
| | Sesión 4 | 1x6 (40% 1RM ~1.28 m/s) | 3x6 (50% 1RM ~1.14 m/s) |
| Semana 3 | Sesión 5 | 1x6 (40% 1RM ~1.28 m/s) | 3x8 (50% 1RM ~1.14 m/s) |
| | Sesión 6 | 1x6 (40% 1RM ~1.28 m/s) 1x6 (50% 1RM ~1.14 m/s) | 3x6 (55% 1RM ~1.07 m/s) |
| Semana 4 | Sesión 7 | 1x6 (40% 1RM ~1.28 m/s) 1x6 (50% 1RM ~1.14 m/s) | 3x6 (55% 1RM ~1.07 m/s) |
| | Sesión 8 | 1x6 (40% 1RM ~1.28 m/s) 1x6 (50% 1RM ~1.14 m/s) | 3x8 (55% 1RM ~1.07 m/s) |
| Semana 5 | Sesión 9 | 1x6 (40% 1RM ~1.28 m/s) 1x6 (50% 1RM ~1.14 m/s) | 2x5 (60% 1RM ~1.00 m/s) |
| | Sesión 10 | 1x6 (40% 1RM ~1.28 m/s) 1x6 (50% 1RM ~1.14 m/s) | 3x5 (60% 1RM ~1.00 m/s) |
| Semana 6 | Sesión 11 | 1x6 (40% 1RM ~1.28 m/s) 1x6 (50% 1RM ~1.14 m/s) | 3x5 (60% 1RM ~1.00 m/s) |
| | Sesión 12 | 1x6 (40% 1RM ~1.28 m/s) 1x6 (50% 1RM ~1.14 m/s) | 3x6 (60% 1RM ~1.00 m/s) |

| Entrenamiento de Carga Alta (70 - 90% 1RM) | | Calentamiento | Entrenamiento |
|---|------------------|--|-------------------------|
| Semana 1 | Sesión 1 | 1x4 (40% 1RM ~1.28 m/s) 1x4 (50% 1RM ~1.14 m/s) 1x4 (60% 1RM ~1.00 m/s) | 3x6 (70% 1RM ~0.84 m/s) |
| | Sesión 2 | 1x4 (40% 1RM ~1.28 m/s) 1x4 (50% 1RM ~1.14 m/s) 1x4 (60% 1RM ~1.00 m/s) | 3x8 (70% 1RM ~0.84 m/s) |
| Semana 2 | Sesión 3 | 1x4 (50% 1RM ~1.14 m/s) 1x4 (60% 1RM ~1.00 m/s) 1x4 (70% 1RM ~0.84 m/s) | 3x6 (75% 1RM ~0.76 m/s) |
| | Sesión 4 | 1x4 (50% 1RM ~1.14 m/s) 1x4 (60% 1RM ~1.00 m/s) 1x4 (70% 1RM ~0.84 m/s) | 4x6 (75% 1RM ~0.76 m/s) |
| Semana 3 | Sesión 5 | 1x4 (50% 1RM ~1.14 m/s) 1x4 (60% 1RM ~1.00 m/s) 1x4 (70% 1RM ~0.84 m/s) | 4x4 (80% 1RM ~0.68 m/s) |
| | Sesión 6 | 1x4 (50% 1RM ~1.14 m/s) 1x4 (60% 1RM ~1.00 m/s) 1x4 (70% 1RM ~0.84 m/s) | 4x5 (80% 1RM ~0.68 m/s) |
| Semana 4 | Sesión 7 | 1x4 (60% 1RM ~1.00 m/s) 1x4 (70% 1RM ~0.84 m/s) 1x3 (80% 1RM ~0.68 m/s) | 4x2 (85% 1RM ~0.59 m/s) |
| | Sesión 8 | 1x4 (60% 1RM ~1.00 m/s) 1x4 (70% 1RM ~0.84 m/s) 1x3 (80% 1RM ~0.68 m/s) | 4x3 (85% 1RM ~0.59 m/s) |
| Semana 5 | Sesión 9 | 1x4 (60% 1RM ~1.00 m/s) 1x4 (70% 1RM ~0.84 m/s) 1x3 (80% 1RM ~0.68 m/s) | 5x3 (85% 1RM ~0.59 m/s) |
| | Sesión 10 | 1x4 (60% 1RM ~1.00 m/s) 1x4 (70% 1RM ~0.84 m/s) 1x3 (80% 1RM ~0.68 m/s) | 2x2 (90% 1RM ~0.51 m/s) |
| Semana 6 | Sesión 11 | 1x4 (60% 1RM ~1.00 m/s) 1x4 (70% 1RM ~0.84 m/s) 1x3 (80% 1RM ~0.68 m/s) 1x2 (85% 1RM ~0.59 m/s) | 3x2 (90% 1RM ~0.51 m/s) |
| | Sesión 12 | 1x4 (60% 1RM ~1.00 m/s) 1x4 (70% 1RM ~0.84 m/s) 1x3 (80% 1RM ~0.68 m/s) 1x2 (85% 1RM ~0.59 m/s) | 3x2 (90% 1RM ~0.51 m/s) |

El número de series osciló entre 2 y 3 para el GCB y entre 2 y 5 para el GCA. En cuanto al número de repeticiones por serie, el GCB realizó entre 5 y 8 repeticiones por serie en función de la intensidad, pero siempre con un carácter del esfuerzo bajo. Por otro lado, el GCA realizó entre 2 y 8 repeticiones por serie en función de la intensidad, donde el carácter del esfuerzo más elevado del ciclo fue, teóricamente, de 8(12) ($\sim 70\%$ 1RM; $0.84 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$), realizando en el resto de las sesiones un carácter del esfuerzo medio para cada intensidad relativa. El tiempo de recuperación fue de 3 minutos entre series. Se controló la velocidad de ejecución en todas las sesiones, lo que permitió ajustar la carga externa en cada sesión, de forma que se modificaba la carga propuesta para mantener la carga real programada. El criterio para modificar la carga absoluta en cada serie fue una diferencia de $\pm 0.05 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ en la VMP del ejercicio.

Antes de cada sesión de entrenamiento los sujetos realizaban un calentamiento consistente en carrera continua de 5', 6 flexiones de piernas sin cargas adicionales, 2 series de CMJ, una de 5 saltos y otra de 3 con 2 minutos de recuperación. A continuación, se realizaba la medición del CMJ para comprobar la evolución diaria de esta variable a lo largo del ciclo de entrenamiento y, tras esto, se realizaba el entrenamiento de sentadilla descrito.

5.2.7 Análisis estadístico

Se emplearon métodos estadísticos estándares para el cálculo de las medias y desviaciones típicas (DT). Se calculó el coeficiente de correlación intraclase (CCI) y el coeficiente de variación (CV) para comprobar la fiabilidad de determinadas variables. La homogeneidad de varianzas entre grupos se verificó usando el test de Levene. La prueba de Shapiro-Wilk se usó para comprobar la normalidad de la distribución en cada una de las variables. Los datos se analizaron utilizando un ANOVA factorial 2x2 usando un factor entre grupos (GCA vs. GCB) y un factor intra-grupos (Test 1 vs. Test 2). Para la comparación de la evolución del salto vertical y de la RM a lo largo del ciclo de entrenamiento se realizó un ANOVA factorial 2x14 con ajustes para comparaciones múltiples post-hoc de Bonferroni. Además, para comparar los valores de índice de esfuerzo y pérdida de velocidad alcanzados por ambos grupos en cada una de las sesiones de entrenamiento se realizó un ANOVA de un factor. Se consideró un nivel alfa como $p \leq 0.05$. Además de este análisis de hipótesis nula, se realizó un análisis

basado en la magnitud de cambio (Batterham & Hopkins, 2006; Hopkins et al., (2009)). El tamaño del efecto (TE) se calculó usando la g de Hedges para estimar la magnitud del efecto del entrenamiento sobre las diferentes variables dentro de cada grupo, como sigue: $g = (\text{Test 2} - \text{Test 1}) / \text{DT combinada}$ (Hedges & Olkin, 1985). Las diferencias estandarizadas o los TE para los cambios en las variables dependientes entre grupos (GCA vs. GCB) se calcularon usando los valores de la DT del Test 1 combinada de ambos grupos (Cohen, 1988). Para las comparaciones entre grupos, se calculó la probabilidad de que los valores reales (desconocido) para cada grupo experimental fuesen *beneficioso/mejor* [por ej. mayor que el mínimo cambio apreciable ($0.2 \times \text{DT entre-sujetos del Test 1}$, basado en el principio de TE de Cohen (Cohen, 1988))], *no claro*, *perjudicial/peor* para el rendimiento. La probabilidad cuantitativa de un efecto *beneficioso/mejor* o *perjudicial/peor* se calculó cualitativamente como sigue: <1%, casi seguro que no; 1-5%, muy poco probable; 5-25%, poco probable; 25-75%, posible; 75-95%, probable; 95-99%, muy probable; y >99%, casi seguro. Si las probabilidades de tener un efecto *beneficioso/mejor* o *perjudicial/peor* fueron ambas >5%, la diferencia fue evaluada como *no clara* (Batterham & Hopkins, 2006; Hopkins et al., (2009)). Para el análisis basado en la magnitud de cambio se usó una hoja de Excel (Hopkins, 2006). El paquete estadístico SPSS 18.0 se usó para el resto del análisis.

5.3 Resultados

En la **Figura 10** se presenta la distribución del número de repeticiones por zonas de velocidad (intensidad relativa) una vez realizado el entrenamiento. El número de repeticiones realizado por cada grupo con la carga máxima de cada sesión de entrenamiento fue muy semejante al programado. El GCA realizó 169.3 ± 3.2 repeticiones frente a las 171 programadas, y el GCB 213.9 ± 0.5 frente a las 214 programadas. Con respecto al número total de repeticiones programado, 316 para ambos grupos, contabilizando también las repeticiones realizadas antes de llegar a las series con la carga máxima de entrenamiento, el GCA realizó 311.7 ± 5.6 y el GCB 315.9 ± 0.5 . Por lo tanto, ambos grupos realizaron un número de repeticiones prácticamente igual al programado. Las escasas repeticiones perdidas por el GCA se debieron a que algún sujeto en alguna ocasión no pudo completar las repeticiones programadas debido a la fatiga.

La **Tabla 9** muestra la evolución de la pérdida de velocidad a lo largo del ciclo de entrenamiento para ambos grupos experimentales. El GCA experimentó una mayor pérdida de velocidad en todas las sesiones de entrenamiento con respecto al GCB, con una diferencia estadísticamente significativa entre las pérdidas de cada grupo para todas las sesiones ($P < 0.001$) así como en la sesión 7 ($P < 0.05$). La pérdida media del GCA vs. GCB fue de un 20.3 vs 8.4%, observándose entre ambos grupos una diferencia estadísticamente significativa en esta variable ($P < 0.001$). La velocidad media del ciclo de entrenamiento fue significativamente menor para el GCA con respecto al GCB (0.61 ± 0.03 vs. $1.07 \pm 0.02 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, $P < 0.001$).

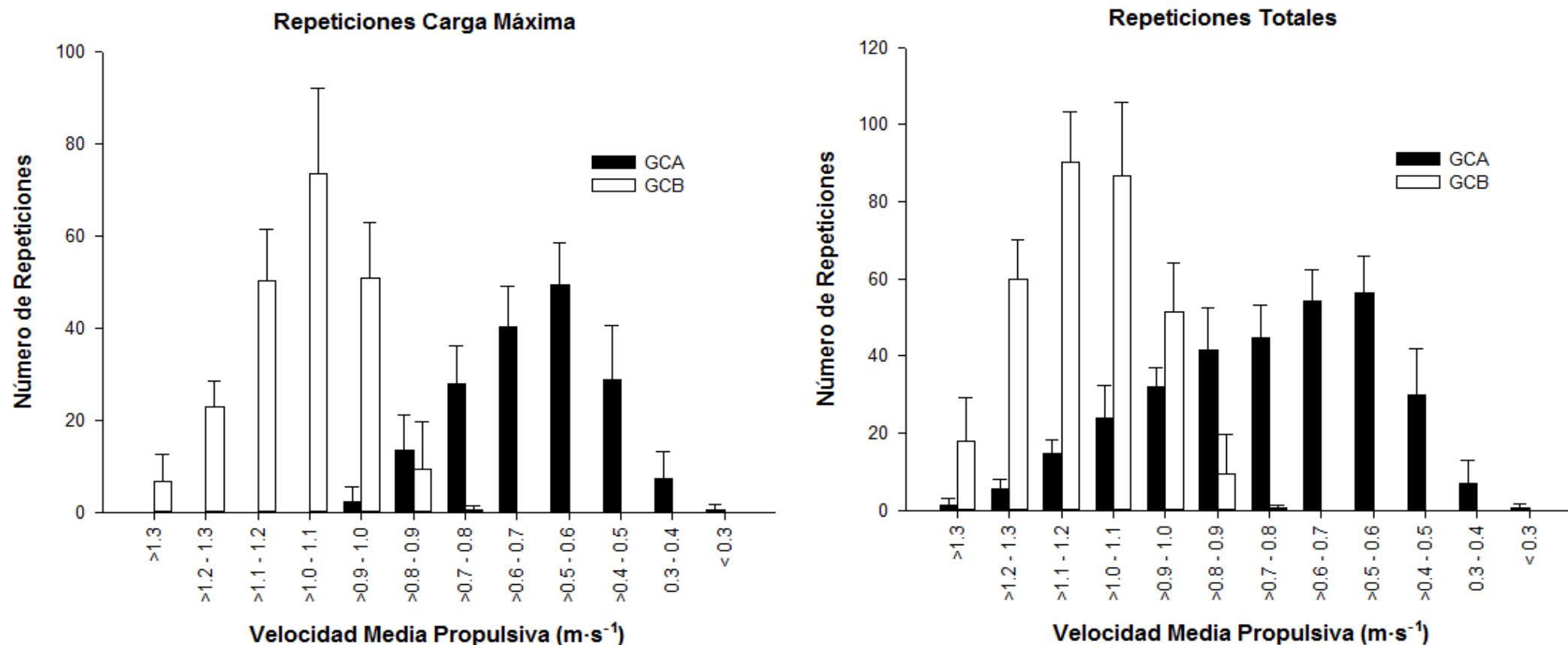


Figura 10. Número de repeticiones realizado por cada grupo en distintas zonas de velocidad (intensidad relativa) durante el ciclo de entrenamiento. **GCA:** Grupo de carga alta (n = 21). **GCB:** Grupo de carga baja (n = 21). **Repeticiones Carga Máxima:** Distribución de las repeticiones realizadas con la carga máxima de cada sesión. **Repeticiones Totales:** Distribución del total de repeticiones realizadas durante el ciclo de entrenamiento que comprenden las programadas previas a la carga máxima y las cargas máximas de cada sesión.

Tabla 9. Pérdida media de velocidad en cada sesión de entrenamiento (%).

| | Sesión 1 | Sesión 2 | Sesión 3 | Sesión 4 | Sesión 5 | Sesión 6 |
|------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| GCA | 17.8 ± 7.7*** | 23.9 ± 6.8*** | 25.9 ± 9.9*** | 28.0 ± 9.9*** | 22.2 ± 8.0*** | 25.8 ± 8.0*** |
| GCB | 6.2 ± 3.7 | 6.5 ± 3.1 | 8.4 ± 3.7 | 7.8 ± 3.3 | 9.9 ± 4.1 | 7.7 ± 3.7 |
| | Sesión 7 | Sesión 8 | Sesión 9 | Sesión 10 | Sesión 11 | Sesión 12 |
| GCA | 10.6 ± 5.3* | 21.0 ± 9.2*** | 19.2 ± 8.2*** | 17.8 ± 7.9*** | 15.4 ± 7.8*** | 16.4 ± 5.9*** |
| GCB | 7.8 ± 3.6* | 12.5 ± 3.8 | 7.4 ± 3.8 | 7.7 ± 2.9 | 8.8 ± 3.8 | 10.3 ± 3.4 |

| Resumen del ciclo de entrenamiento en relación con los valores de velocidad y repeticiones | | | | |
|--|-------------------|--------------------------------------|---------------------------|----------------------|
| | Pérdida Media (%) | Velocidad Media (m·s ⁻¹) | Repeticiones Carga Máxima | Repeticiones Totales |
| GCA | 20.3 ± 5.1*** | 0.61 ± 0.03*** | 169.3 ± 3.2*** | 311.7 ± 5.6 |
| GCB | 8.4 ± 1.8 | 1.07 ± 0.02 | 213.9 ± 0.5 | 315.9 ± 0.5 |

Los valores son expresados como media ± desviación típica. **GCA:** Grupo de carga alta (n = 21). **GCB:** Grupo de carga baja (n = 21). **Pérdida Media:** Porcentaje medio de pérdida de velocidad de cada sesión de entrenamiento, calculado a partir de la media de las pérdidas de las series que conformaron cada sesión con la carga máxima del entrenamiento. La pérdida de cada serie se calculó como el porcentaje que representó la última repetición con respecto a la mejor repetición de dicha serie. **Velocidad Media:** Velocidad media del ciclo de entrenamiento contando todas las repeticiones realizadas con la carga máxima de cada sesión. **Repeticiones Carga Máxima:** Número de repeticiones realizado en el ciclo de entrenamiento con la carga máxima de cada sesión. **Repeticiones Totales:** Número de repeticiones totales realizado en el entrenamiento con todas las cargas de la sesión, tanto con la carga máxima diaria como las realizadas en las series previas a dicha carga. Diferencias significativas entre grupos: ***P < 0.001; *P < 0.05.

En la **Figura 11** se muestra la evolución del índice de esfuerzo de cada sesión para cada grupo de entrenamiento. El índice de esfuerzo para el GCA fue significativamente mayor en 5 de las 6 primeras sesiones ($P < 0.001$), así como en la sesión 9 ($P < 0.01$) con respecto al GCB. En la evolución a lo largo de las 6 semanas de entrenamiento se pudo observar un comportamiento prácticamente idéntico al del estudio 1. Así, el GCB obtuvo unos valores muy similares durante todo el ciclo, mientras que el GCA obtuvo sus valores más altos en las primeras sesiones, observándose una disminución del índice de esfuerzo a medida que avanzó el ciclo de entrenamiento, llegando incluso a tener valores menores que el GCB en 4 de las 6 últimas sesiones, aunque estas diferencias no fueron significativas. En lo que se refiere a la media total del ciclo, el GCA mostró un valor de índice de esfuerzo de 14.1, mientras que el GCB obtuvo un valor de 9.6, observándose una diferencia estadísticamente significativa entre ambos grupos en esta variable.

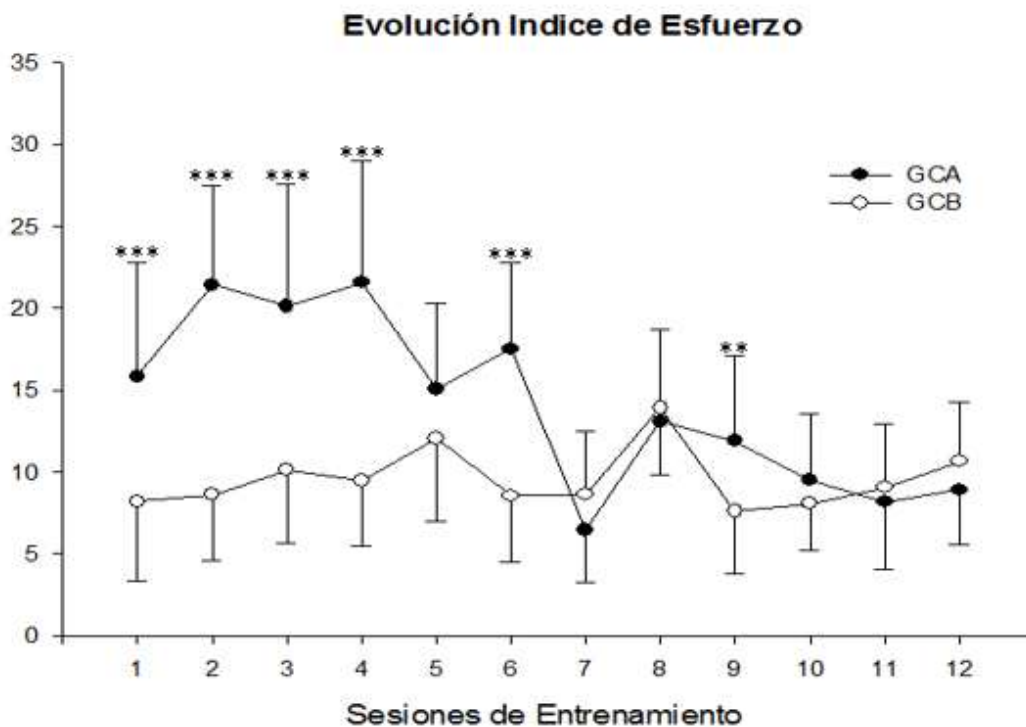


Figura 11. Evolución del índice de esfuerzo a lo largo del ciclo de entrenamiento. **GCA:** Grupo de carga alta ($n = 21$). **GCB:** Grupo de carga baja ($n = 21$). Para el cálculo del índice de esfuerzo en cada sesión se multiplicó el valor de la mejor repetición con la carga de entrenamiento por la pérdida media correspondiente a las series de entrenamiento de ese día. Diferencias significativas entre grupos: ** $P < 0.01$; *** $P < 0.001$.

Los datos analizados en la **Tabla 10** muestran que a lo largo del ciclo de entrenamiento el GCA alcanzó una pérdida de salto ligeramente mayor con respecto al GCB (18.8 ± 2.9 vs. 17.0 ± 1.7 , respectivamente). El GCA alcanzó mayores pérdidas de salto que el GCB en 7 de las 12 sesiones de entrenamiento, observándose una pérdida estadísticamente significativa entre ambos grupos en las sesiones 2, 4 ($P < 0.001$) y 5 ($P < 0.01$). El GCB obtuvo mayores pérdidas de salto que el GCA en 5 de las 12 sesiones de entrenamiento. Estas diferencias se observaron en mayor medida en las últimas sesiones del ciclo. Sin embargo, no se observaron diferencias significativas con respecto a las pérdidas de salto en el GCA en ninguna de esas sesiones.

Tabla 10. Pérdida media de salto vertical tras cada sesión de entrenamiento (%).

| | Sesión 1 | Sesión 2 | Sesión 3 | Sesión 4 | Sesión 5 | Sesión 6 | |
|------------|----------------|----------------------|---------------------|----------------------|----------------|----------------|--|
| GCA | 19.7 ± 5.8 | $22.9 \pm 5.6^{***}$ | $21.6 \pm 4.7^{**}$ | $23.6 \pm 5.9^{***}$ | 20.0 ± 5.5 | 19.5 ± 5.7 | |
| GCB | 20.4 ± 6.5 | 15.0 ± 3.9 | 17.4 ± 3.6 | 16.7 ± 3.6 | 16.9 ± 3.9 | 16.9 ± 4.8 | |

| | Sesión 7 | Sesión 8 | Sesión 9 | Sesión 10 | Sesión 11 | Sesión 12 | TOTAL CICLO |
|------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| GCA | 15.0 ± 5.5 | 17.8 ± 3.9 | 17.6 ± 4.9 | 14.9 ± 6.3 | 16.5 ± 4.9 | 17.1 ± 6.6 | 18.8 ± 2.9 |
| GCB | 17.0 ± 4.7 | 18.9 ± 4.3 | 15.1 ± 3.5 | 15.0 ± 3.2 | 15.7 ± 3.2 | 18.6 ± 3.9 | 17.0 ± 1.7 |

Los valores son expresados como media \pm desviación típica. **GCA:** Grupo de carga alta ($n = 21$). **GCB:** Grupo de carga baja ($n = 21$). Para el cálculo de la pérdida media del salto vertical tras cada sesión de entrenamiento se tomó como referencia el salto inicial evaluado antes del inicio de cada sesión (100%), y se calculó como la media de tres saltos realizados inmediatamente después, a los 15" y a los 30" de haber realizado la última repetición del entrenamiento. Diferencias significativas entre grupos: *** $P < 0.001$; ** $P < 0.01$

En la **Figura 12a** se muestra la evolución diaria del rendimiento en el salto vertical de ambos grupos de entrenamiento. El GCB experimentó un efecto positivo sobre la mejora de esta variable durante todo el ciclo de entrenamiento, con una diferencia estadísticamente significativa en las sesiones 7 y 8 ($P < 0.05$), 9, 10, 11, 12 y en el post-test ($P < 0.01$) con respecto al pre-test. En el GCA no se observó una diferencia estadísticamente significativa en ninguna de las sesiones de entrenamiento con respecto al pre-test. Además, se observaron diferencias entre grupos en el porcentaje de mejora del CMJ a favor del GCB en las sesiones 4, 5, 6 y 8 ($P < 0.05$), 7, 9, 10, 11, 12 y en el post-test ($P < 0.01$). En cuanto a la evolución de 1RM (**Figura 12b**), ambos grupos

tienden a mejorar en esta variable a lo largo del ciclo de entrenamiento, sin diferencias significativas entre ambos. En el análisis intra-grupo del GCA se observó un aumento estadísticamente significativo desde la sesión 6 hasta el post-test ($P < 0.001$) con respecto al pre-test, mientras que en el GCB se observó una mejora estadísticamente significativa en las sesiones 5 y 6 ($P < 0.01$), y en el resto de sesiones desde la número 7 hasta el post-test ($P < 0.001$) con respecto al pre-test.

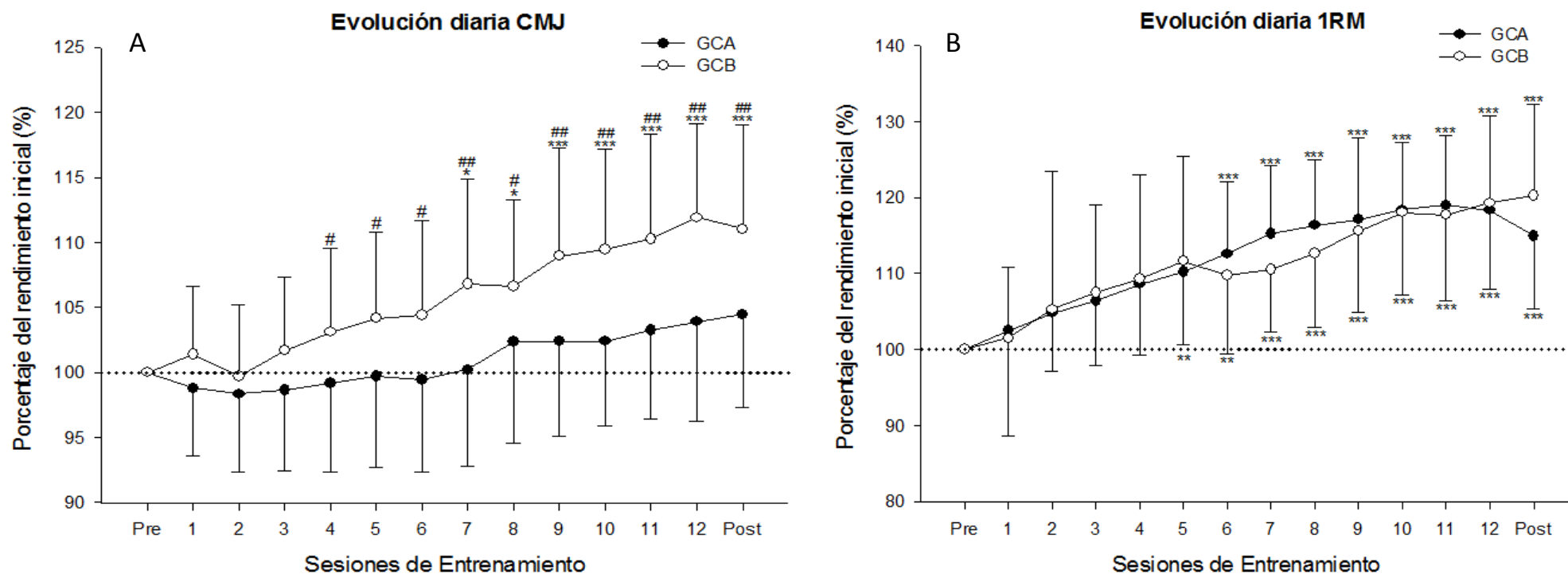


Figura 12. Evolución diaria del CMJ (A) y de 1RM (B) para GCA y GCB a lo largo del ciclo de entrenamiento. **GCA:** Grupo de carga alta (n = 21). **GCB:** Grupo de carga baja (n = 21). La **Figura 12a** representa la evolución diaria del salto vertical medido antes de cada sesión de entrenamiento para ambos grupos experimentales. El valor del salto inicial (pre) fue considerado como el 100%. La **Figura 12b** representa el valor estimado de 1RM para cada día de entrenamiento. El valor de 1RM del test inicial fue considerado como 100%. Diferencias significativas intra-grupo: * $P \leq 0.05$; ** $P \leq 0.01$; *** $P \leq 0.001$. Diferencias significativas entre grupos: # $P \leq 0.05$; ## $P \leq 0.01$; ### $P \leq 0.001$.

Cambios en el rendimiento físico

Los principales resultados obtenidos pre-post entrenamiento sobre las variables relacionadas con el rendimiento se muestran en la **Tabla 11** y en las **Figuras 13 y 14**.

Cambios Intra-grupo

El GCA experimentó una mejora estadísticamente significativa en las variables de 1RM, VMP, VMP<1 y CMJc ($P < 0,001$), en VMP \geq 1 ($P < 0,01$) y en CMJ ($P < 0,05$). En el resto de variables analizadas no se observaron diferencias significativas entre el pre-test y el post-test. Las inferencias basadas en la magnitud del cambio determinaron un *más que probable* aumento en 1RM, VMP, VMP<1 y CMJc (100/0/0), un *muy probablemente* aumento en VMP \geq 1 (99/1/0), así como un *posiblemente* aumento en CMJ (72/28/0). En el resto de variables se observó un efecto *muy probablemente trivial* (T10-20, T20 y T30), *probablemente trivial* (T20-30) y *no claro* (T10).

El GCB experimentó una mejora estadísticamente significativa en las variables de 1RM, VMP, VMP \geq 1, VMP<1, CMJc y CMJ ($P < 0,001$), así como en las variables de T10-20 y T20 ($P < 0,01$), y T30 ($P < 0,05$) tras el periodo de entrenamiento, reduciendo significativamente el tiempo empleado en recorrer esas distancias. El resto de variables analizadas no mostraron diferencias significativas entre el pre y el post-test. Las inferencias basadas en la magnitud del cambio determinaron un *más que probable* aumento en 1RM, VMP, VMP \geq 1, VMP<1, CMJc y CMJ (100/0/0), un *probablemente* efecto positivo en T10-20 (88/12/0) y *posiblemente* positivo en T20 (71/29/0) y T30 (43/57/0). En el resto de variables los efectos fueron *probablemente triviales* (Figura X).

Cambios Inter-grupo

Se observaron interacciones significativas ($P < 0,01 - 0,05$) grupo x tiempo en las variables de CMJ, VMP<1 y T10-20 a favor del GCB. Las inferencias basadas en la magnitud del cambio determinaron un *probablemente* mejor efecto en las variables de VMP, VMP<1 y CMJ a favor de GCB, así como un *probablemente* mejor efecto sobre las variables relacionadas con la capacidad de sprint (T10-20, T20, T20-30 y T30) de nuevo a favor de GCB. Se observó un *posiblemente* mejor efecto a favor de GCB para

las variables de 1RM y $VMP \geq 1$, mientras que en la variable T10 los efectos fueron *no claros*.

Tabla 11. Resultados pre-post entrenamiento en los ejercicios de sentadilla completa, salto vertical y carrera de 30 m.

| | GCA | | GCB | | Cambios observados para GCA vs. GCB | |
|----------------------------|-------------|-----------------|-------------|-----------------|--|---|
| | Pre | Post | Pre | Post | Diferencias (Cohen) Estandarizadas (IC 90%) | Probabilidad de un mejor efecto para GCB/similar/GCA |
| 1RM (kg) | 94.1 ± 14.8 | 108.3 ± 17.5*** | 84.0 ± 17.2 | 101.1 ± 20.6*** | 0.16 (-0.11; 0.42) | 39/60/1 Posiblemente |
| VMP (m·s ⁻¹) | 0.96 ± 0.09 | 1.06 ± 0.11*** | 0.94 ± 0.06 | 1.08 ± 0.08*** | 0.47 (0.01; 0.94) | 84/15/1 Probablemente |
| VMP≥1 (m·s ⁻¹) | 1.27 ± 0.07 | 1.32 ± 0.09** | 1.25 ± 0.09 | 1.33 ± 0.09*** | 0.32 (-0.13; 0.78) | 67/30/3 Posiblemente |
| VMP<1 (m·s ⁻¹) | 0.71 ± 0.05 | 0.85 ± 0.08*** | 0.70 ± 0.04 | 0.89 ± 0.09***† | 0.76 (0.11; 1.41) | 92/7/1 Probablemente |
| CMJc (m·s ⁻¹) | 2.51 ± 0.18 | 2.65 ± 0.16*** | 2.44 ± 0.18 | 2.57 ± 0.17*** | -0.04 (-0.40; 0.32) | 14/64/23 No Claro |
| CMJ (cm) | 36.1 ± 5.3 | 37.6 ± 5.0* | 33.8 ± 4.7 | 37.5 ± 5.8***†† | 0.43 (0.17; 0.69) | 93/7/0 Probablemente |
| T10 (s) | 1.80 ± 0.10 | 1.79 ± 0.08 | 1.83 ± 0.09 | 1.82 ± 0.09 | 0.09 (-0.21; 0.40) | 28/67/5 No Claro |
| T10-20 (s) | 1.29 ± 0.07 | 1.29 ± 0.08 | 1.32 ± 0.07 | 1.29 ± 0.06***† | 0.35 (0.10; 0.59) | 84/16/0 Probablemente |
| T20 (s) | 3.10 ± 0.16 | 3.10 ± 0.15 | 3.15 ± 0.15 | 3.11 ± 0.14** | 0.20 (-0.01; 0.40) | 49/51/0 Posiblemente |
| T20-30 (s) | 1.23 ± 0.08 | 1.23 ± 0.08 | 1.25 ± 0.07 | 1.24 ± 0.07 | 0.14 (-0.09; 0.38) | 34/65/1 Posiblemente |
| T30 (s) | 4.35 ± 0.23 | 4.34 ± 0.23 | 4.41 ± 0.22 | 4.36 ± 0.21* | 0.13 (-0.04; 0.30) | 25/75/0 Posiblemente |

Los datos son expresados como media ± desviación típica. IC 90%: Intervalo de Confianza al 90%. **GCA:** Grupo de carga alta (n = 21). **GCB:** Grupo de carga baja (n = 21). **1RM:** Una repetición máxima. **VMP:** Velocidad media alcanzada con las cargas absolutas comunes en el Test 1 y en el Test 2 en el test de cargas progresivas. **VMP≥1:** Velocidad media con las cargas absolutas que se desplazaron a una velocidad igual o superior a 1 m·s⁻¹ durante el Test 1. **VMP<1:** Velocidad media con las cargas absolutas que se desplazaron a menos de 1 m·s⁻¹ durante el Test 1. **CMJc:** Velocidad media del test de salto con cargas externas tomando como referencia la velocidad máxima alcanzada con cada carga. **CMJ:** Altura en el salto con contramovimiento. **T10:** Tiempo en recorrer a sprint 10 m. **T10-20:** Tiempo en recorrer a sprint el intervalo de 10 – 20 m. **T20:** Tiempo en recorrer a sprint 20 m. **T20-30:** Tiempo en recorrer a sprint el intervalo de 20 – 30 m. **T30:** Tiempo en recorrer a sprint 30 m. Diferencias significativas intra-grupo: * P ≤ 0.05; ** P ≤ 0.01; *** P ≤ 0.001. Interacción significativa grupo x tiempo: † P ≤ 0.05; †† P ≤ 0.01; ††† P ≤ 0.001

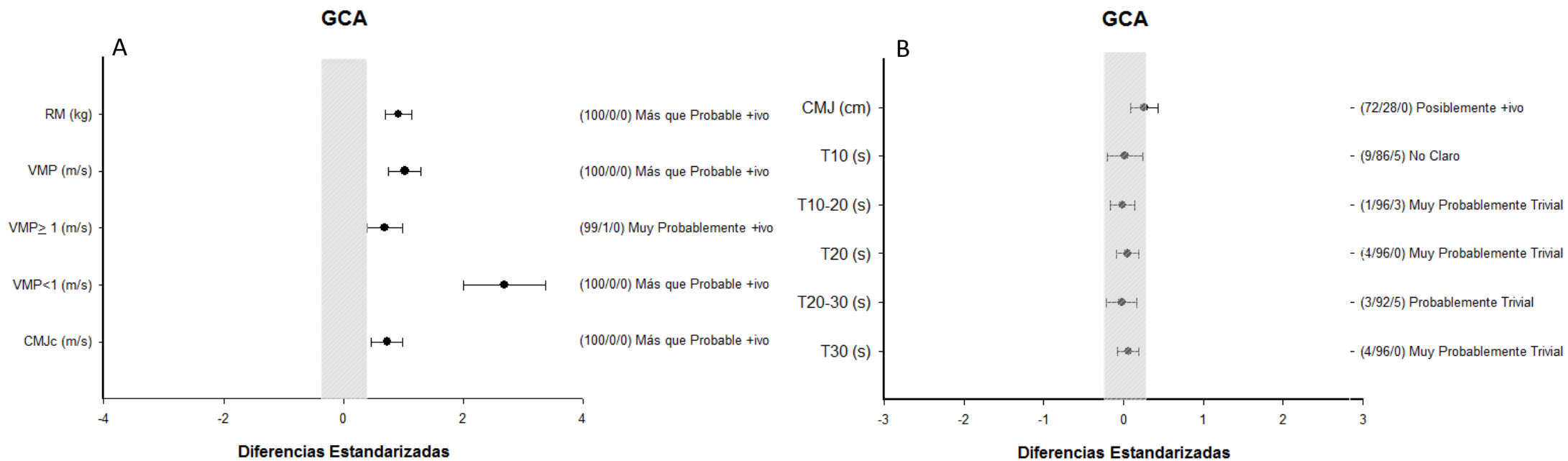


Figura 13: Tamaños del efecto intra-grupo pre-post entrenamiento en las variables relacionadas con la fuerza en el ejercicio de sentadilla completa y el salto con carga (A), salto vertical y carrera de 30 m (B) para el grupo de cargas altas. **GCA:** Grupo de carga alta (n = 21)

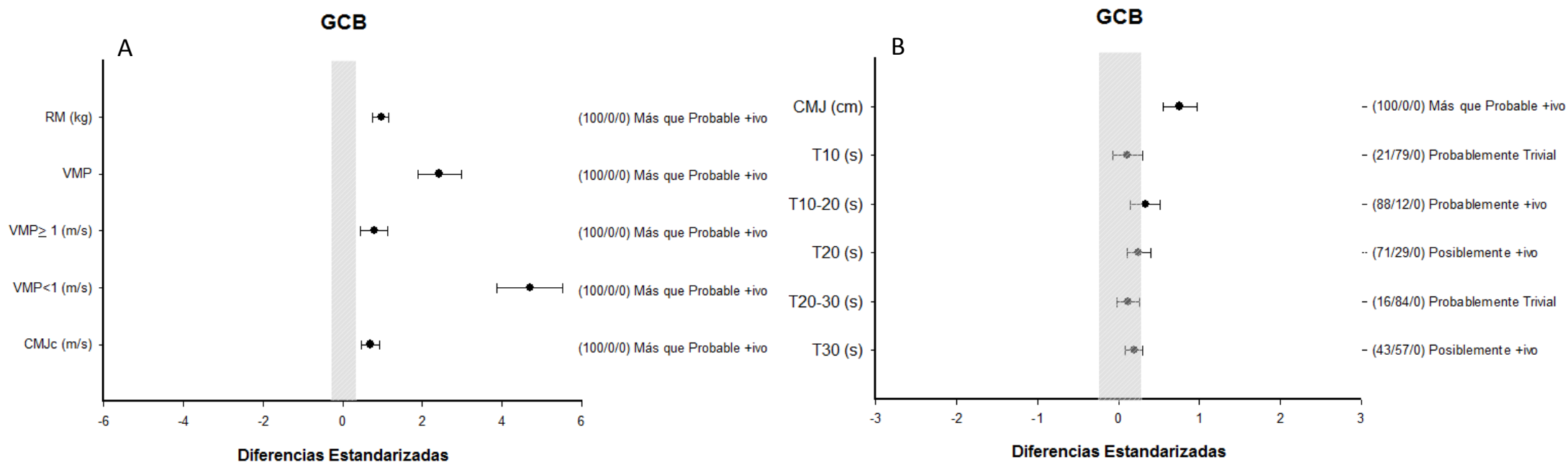


Figura 14: Tamaños del efecto intra-grupo pre-post entrenamiento en las variables relacionadas con la fuerza en el ejercicio de sentadilla completa y el salto con carga (A), salto vertical y carrera de 30 m (B) para el grupo de cargas bajas. **GCB:** Grupo de carga baja ($n = 21$).

Cambios en la respuesta hormonal

El resumen de los resultados obtenidos pre-post entrenamiento sobre las variables relacionadas con la respuesta hormonal se muestran en la **Tabla 12** y en la **Figura 15**.

Cambios Intra-grupo

El GCA mostró un aumento significativo en la concentración basal de TST ($P < 0.001$), así como una disminución significativa en el cortisol ($P < 0.05$). El aumento de la testosterona y la disminución del cortisol resultaron en un aumento estadísticamente significativo en el ratio T/C ($P < 0.01$). En lo referente a la GH y la IGF-1, no se observaron cambios significativos en sus concentraciones, aunque la IGF-1 mostró una tendencia hacia la disminución de su concentración tras el periodo de entrenamiento ($P = 0.067$). Las inferencias basadas en la magnitud del cambio determinaron un *muy probablemente* aumento de TST y ratio T/C (99/1/0), un *probablemente* descenso en las concentraciones de cortisol (1/10/90) y una *posiblemente* disminución de la IGF-1 (0/28/72). En la hormona GH el efecto observado fue *no claro* (71/23/6).

El GCB mostró un descenso significativo en la concentración basal de TST ($P < 0.001$), así como una tendencia hacia un aumento del Cortisol que no llegó a ser significativo ($P = 0.067$). Sin embargo, el ratio T/C sí experimentó una disminución estadísticamente significativa tras el periodo de entrenamiento ($P < 0.01$). En el resto de hormonas analizadas no se observaron cambios estadísticamente significativos. Las inferencias basadas en la magnitud del cambio determinaron una *más que probable* disminución de TST (0/0/100) y un *muy probablemente* aumento en el cortisol (97/3/0). El ratio T/C experimentó un *muy probablemente* descenso en su valor (0/4/96). Se observó un *posiblemente* aumento en IGF-1 (41/57/2), así como un *probablemente* aumento en la GH (89/8/3).

Cambios Inter-grupo

Se observaron interacciones significativas ($P < 0.001 - 0.05$) *grupo x tiempo* en las variables de TST, cortisol, ratio T/C e IGF-1. No se observaron diferencias significativas entre los grupos GCA y GCB en el pre-test para ninguna de las variables analizadas, excepto en el cortisol ($P < 0.001$) y en el ratio T/C ($P < 0.01$). Tras el

periodo de entrenamiento, el GCA mostró significativamente mayor concentración de TST que el GCB ($P < 0.01$). Además, las diferencias observadas en el pre-test entre los dos grupos en el cortisol y el ratio T/C no se observaron en el post-test. Las inferencias basadas en la magnitud del cambio determinaron un *más que probable* aumento en TST y ratio T/C (0/0/100) a favor de GCA, mientras que se observó un *muy probablemente* aumento del cortisol (99/1/0) y un *probablemente* aumento de IGF-1 a favor de GCB con respecto a GCA (85/15/0). En la variable GH los efectos fueron *no claros*.

Tabla 12. Resultados pre-post entrenamiento sobre la respuesta hormonal.

| | GCA | | GCB | | Cambios observados para GCA vs. GCB | |
|---|-------------------------|--|------------------|----------------------|--|--|
| | Pre | Post | Pre | Post | Diferencias (Cohen) Estandarizadas (IC 90%) | Probabilidad de un mayor aumento para GCB/similar/GCA |
| TST ($\text{ng}\cdot\text{ml}^{-1}$) | 5.5 ± 1.6 | $6.8 \pm 2.0^{***\#\#\dagger\dagger\dagger}$ | 6.3 ± 1.7 | $5.1 \pm 1.2^{***}$ | -1.28 (-1.76; -0.81) | 0/0/100 Más que Probable |
| Cortisol ($\text{mg}\cdot\text{dl}^{-1}$) | $18.0 \pm 6.5^{\#\#\#}$ | $14.2 \pm 4.1^{*\dagger\dagger}$ | 11.6 ± 4.3 | 14.3 ± 5.5 | 1.12 (0.52; 1.72) | 99/1/0 Muy Probablemente |
| Ratio T/C | $0.34 \pm 0.14^{\#\#}$ | $0.58 \pm 0.35^{***\dagger\dagger\dagger}$ | 0.66 ± 0.47 | $0.42 \pm 0.19^{**}$ | -1.39 (-1.96; -0.83) | 0/0/100 Más que Probable |
| GH ($\text{ng}\cdot\text{ml}^{-1}$) | 1.0 ± 2.6 | 2.1 ± 4.4 | 0.2 ± 0.1 | 0.3 ± 0.3 | -0.37 (-1.01; 0.27) | 7/26/67 No Claro |
| IGF-1 ($\text{ng}\cdot\text{ml}^{-1}$) | 297.4 ± 57.4 | $279.8 \pm 82.2^{\dagger}$ | 270.0 ± 52.6 | 278.9 ± 50.9 | 0.42 (0.07; 0.77) | 85/15/0 Probablemente |

Los datos son expresados como media \pm desviación típica. IC 90%: Intervalo de Confianza al 90%. **GCA:** Grupo de carga alta (n = 21). **GCB:** Grupo de carga baja (n = 21). **TST:** Concentración basal de testosterona. **Cortisol:** Concentración basal de cortisol. **Ratio T/C:** Cociente entre la concentración basal de testosterona y la concentración basal de cortisol. **GH:** Concentración basal de la hormona de crecimiento. **IGF-1:** Concentración basal de somatomedina-C. Diferencias significativas intra-grupo: * $P \leq 0.05$; ** $P \leq 0.01$; *** $P \leq 0.001$. Diferencias significativas entre grupos: $\#\#$ $P \leq 0.01$; $\#\#\#$ $P \leq 0.001$. Interacción significativa *grupo x tiempo*: \dagger $P \leq 0.05$; $\dagger\dagger$ $P \leq 0.01$; $\dagger\dagger\dagger$ $P \leq 0.001$

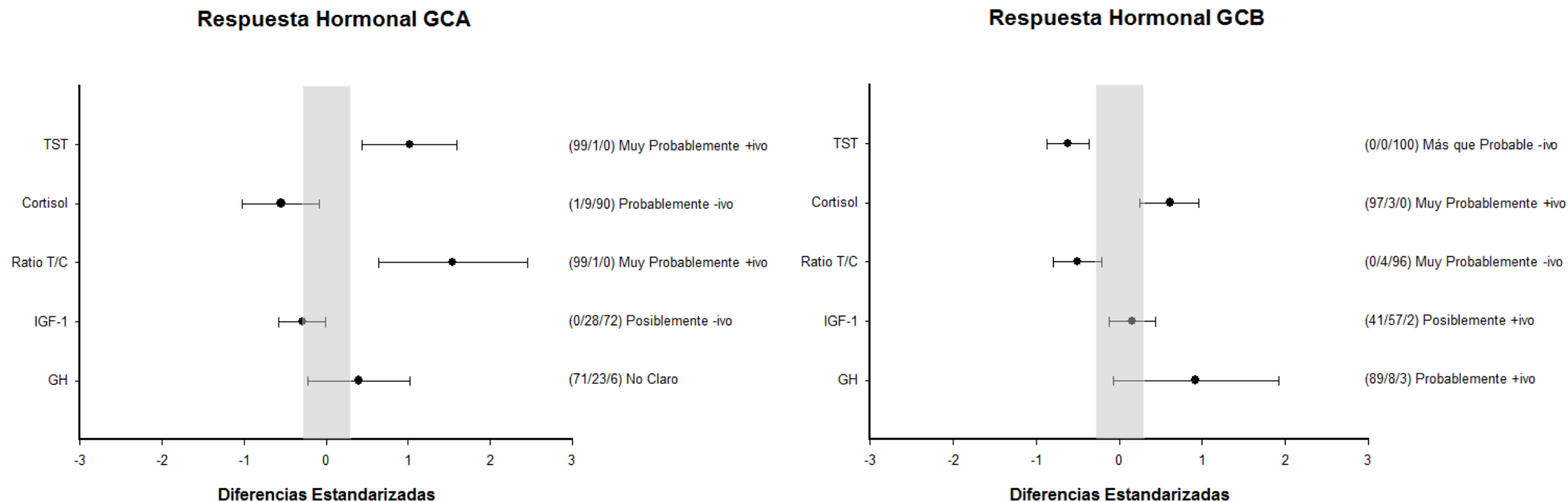


Figura 15. Tamaños del efecto intra-grupo pre-post entrenamiento sobre la respuesta hormonal crónica. **GCA:** Grupo de carga alta (n = 21). **GCB:** Grupo de carga baja (n = 21). **TST:** Concentración basal de testosterona. **Cortisol:** Concentración basal de cortisol. **Ratio T/C:** Cociente entre la concentración basal de testosterona y la concentración basal de cortisol. **GH:** Concentración basal de la hormona de crecimiento. **IGF-1:** Concentración basal de somatomedina-C.

5.4 Discusión

La realización de este estudio es en parte una replicación del estudio 1, dado que se utilizaron las mismas intensidades y volúmenes de entrenamiento que en dicho estudio, pero añadiendo otras variables dependientes como el salto con carga, el tiempo en 30 metros y la respuesta hormonal, así como una estimación del grado de fatiga a través de la pérdida de salto vertical medida inmediatamente después de cada sesión. De igual manera que en el estudio 1, se midieron todas las repeticiones realizadas en cada grupo de entrenamiento.

El principal hallazgo del presente estudio fue que, además de confirmar los resultados obtenidos en el estudio 1, se observó una interacción *grupo x tiempo* a favor del grupo de carga baja en las variables de $VMP < 1$ y T10-20 ($P < 0.05$) y CMJ ($P < 0.01$), así como una interacción *grupo x tiempo* en la respuesta hormonal en TST y Ratio T/C ($P < 0.001$), cortisol ($P < 0.01$) e IGF-1 ($P < 0.05$). En los cambios intragrupo, el grupo de carga baja experimentó una mejora sobre la capacidad de aceleración en las distancias de 10 – 20, 20 y 30 metros. Adicionalmente, se observó una mejora en ambos grupos tanto del CMJc ($P < 0.001$) como de $VMP \geq 1$ ($P < 0.01$ en GCA y $P < 0.001$ en GCB). Por otro lado, los efectos sobre la respuesta hormonal fueron contrarios para cada grupo de entrenamiento, observándose un aumento de la testosterona y una disminución en el cortisol en el grupo de carga alta, mientras que en el grupo de carga baja se produjo un efecto contrario, excepto para la GH y la IGF-1, en las que no se observaron cambios significativos. Estos resultados indicaron que el entrenamiento de fuerza con intensidades entre el 40 y el 60% de 1RM en el ejercicio de sentadilla completa ofrece mejores efectos en la mejora del sprint, así como los mismos efectos que el entrenamiento de fuerza con carga alta en las variables relacionadas con la fuerza y el salto vertical. Por lo tanto no sería recomendable, en ningún caso, la aplicación de un programa de entrenamiento con cargas altas cuando el objetivo que se persigue es la mejora de la fuerza y del rendimiento físico específico.

La medición diaria de la velocidad de ejecución permitió el análisis de la fatiga neuromuscular a través de la pérdida de velocidad en la serie. Así, en el análisis realizado sobre esta variable para cada uno de los dos grupos, se observó que la pérdida de velocidad en la serie experimentada por el grupo de carga baja fue de menos de la mitad que la producida por el entrenamiento de carga alta (8.4 vs 20.3%,

respectivamente), siendo en ambos casos muy similares a las del estudio 1 de la presente tesis doctoral.

Los datos obtenidos de este análisis nos permiten tener un conocimiento más preciso sobre el grado de esfuerzo real que representó cada carga para cada sujeto, pudiendo comprobar que el grupo de carga alta entrenó con un carácter del esfuerzo mayor en el ciclo de entrenamiento con respecto al grupo de carga baja. Así, en referencia a los estudios que han centrado sus investigaciones en la pérdida de velocidad en cada sesión de entrenamiento, podríamos indicar que el grupo de carga alta realizó, aproximadamente, un número de repeticiones por serie en torno a la mitad de las repeticiones realizables que cada carga permitiría realizar, pues se ha observado que una pérdida de velocidad en la serie en torno al 20% equivaldría a realizar ese número de repeticiones en el ejercicio de sentadilla completa (Sánchez-Medina y González-Badillo., 2011; Pareja-Blanco et al., 2016a; González-Badillo et al., 2016). El control de la pérdida de velocidad y, por tanto, de la fatiga producida por cada carga de entrenamiento es importante, pues nos permite conocer de manera más precisa el grado de esfuerzo realizado, lo cual nos será útil para poder explicar el efecto del entrenamiento.

Efectos sobre la RM, VMP, $VMP < 1$ y $VMP \geq 1$. La aplicación del programa de entrenamiento propuesto para cada grupo produjo similares mejoras tanto en la fuerza dinámica máxima (1RM estimada a través de la velocidad de ejecución) como en la velocidad media de las cargas comunes del test 1 y en las cargas $\geq 1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ en los dos grupos de entrenamiento. Además, se observó una interacción *grupo x tiempo* ($P < 0.05$) en la velocidad media con las cargas $< 1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ a favor del grupo de carga baja. Por lo tanto, el entrenamiento de fuerza con cargas bajas produjo las mismas, e incluso superiores adaptaciones en las variables relacionadas con la fuerza que el entrenamiento de carga alta, que no aportó ningún beneficio mayor en ninguna de las variables mencionadas. Estos resultados reforzarían los obtenidos en el estudio I de la presente tesis doctoral. Pero además, en este estudio, el análisis de los tamaños del efecto entre grupos fue siempre a favor del grupo de carga baja, especialmente en las variables de VMP (0.47) y $VMP < 1$ (0.76) (TABLA x).

Aunque una de las razones que podría explicar la mayor mejora producida por las cargas bajas podría estar relacionada con el efecto sobre los patrones de reclutamiento

de las fibras rápidas, esto no sería suficiente, ya que en algunos estudios se ha observado que tanto el empleo de cargas altas como bajas, entrenando con la intención de desplazar la carga a la máxima velocidad, produce una mejora de la fuerza gracias a una mayor activación neural (Henneman, Somjen & Carpenter, 1965; Desmedt y Godaux, 1977; Van Cutsem et al., 1998; Hakkinen y Komi, 1985). Por tanto, la ventaja ofrecida por el entrenamiento de carga baja sobre las variables relacionadas con la fuerza podría venir explicada por la menor fatiga que provocó este tipo de entrenamiento, tal y como se puede observar en el análisis de las pérdidas de velocidad en la serie, así como por la mayor velocidad absoluta a la que se desarrolló el entrenamiento. Este hallazgo confirmaría la hipótesis de que el entrenamiento con cargas bajas y un número bajo de repeticiones por serie produce un mejor efecto sobre la fuerza dinámica en comparación con el entrenamiento con cargas altas y un mismo número total de repeticiones, lo cual sugiere que no parece necesario alcanzar los valores de fatiga más elevados que presentaron las cargas altas para la mejora de las variables relacionadas con la fuerza.

Los resultados del presente estudio están en línea con los observados por otros autores en los que se compararon los efectos del entrenamiento con cargas altas o bajas sobre la mejora de la fuerza (Campos et al., 2002; Leal et al., 2011; Mora-Custodio et al., 2016; Moss et al., 1997; Schmidtleicher y Haralambie., 1981; Weiss et al., 1999). Leal et al. (2011) compararon los efectos del entrenamiento con cargas altas y bajas (4 – 10RM vs. 30–60% de 1RM) en el ejercicio de sentadilla. El grupo de carga alta entrenó hasta el fallo muscular, mientras que el grupo de carga baja realizó entre 6 y 8 repeticiones, es decir, entrenó con un grado de esfuerzo mucho menor. Los resultados mostraron que ambos grupos mejoraron tanto su fuerza máxima como la potencia concéntrica tras el ciclo de entrenamiento, por lo que, a pesar de que el entrenamiento con cargas altas se realizó hasta el fallo muscular, el entrenamiento con cargas altas no ofreció mayores beneficios en la mejora de la fuerza respecto al que produjo el entrenamiento con cargas bajas. En un protocolo de entrenamiento muy similar al de estos autores, Lamas et al. (2012) mostraron una mejora de la fuerza en el ejercicio de sentadilla tras dos tipos de entrenamiento distintos en cuanto a la intensidad (4 – 10RM vs. 30–60% de 1RM), con un número de repeticiones hasta el fallo muscular en el grupo de carga alta y un rango de 6 a 8 repeticiones en el grupo de carga baja. Además, no se observaron diferencias significativas entre grupos en cuanto a la mejora de la fuerza, por lo que el

entrenamiento con cargas bajas ofreció los mismos efectos sobre la mejora de la fuerza que el entrenamiento con carga altas. Aunque estos estudios parecen confirmar que, efectivamente, las cargas bajas pueden ofrecer un efecto similar o mejor que las altas, en ninguno de ellos se controló la variable volumen, por lo que los resultados podrían ser también dependientes de esta variable. Esto no ocurrió en nuestro estudio, en el cual se igualaron los volúmenes del entrenamiento en ambos rangos de intensidades, lo cual nos permite sugerir que las diferencias en los resultados de nuestro estudio se deben a la intensidad y no al volumen. Además, basándonos en los estudios citados y en el nuestro propio, se observa una clara tendencia a que una mayor fatiga (hasta el fallo muscular en algunos casos en el grupo de carga alta) no produce mejores efectos que el entrenamiento con una fatiga, o número de repeticiones, menor.

En un protocolo muy similar al realizado en el presente estudio, Mora-Custodio et al., (2016) realizaron un entrenamiento de 12 semanas de duración en el que compararon los efectos de dos tipos de entrenamiento distintos en intensidad, e iguales en volumen, sobre los efectos en la fuerza dinámica máxima, expresada a través de la estimación de 1RM, así como en la velocidad ante la primera y la última carga del test 1. Estos autores encontraron una mejora de todas las variables citadas en ambos grupos de entrenamiento, con una interacción grupo x tiempo a favor de la carga baja en las variables de 1RM y de velocidad alcanzada ante la última carga del test 1. Estos resultados están en línea con los observados en nuestro estudio en base a la mejora de la fuerza expresada como la estimación de 1RM, aunque en nuestro caso no se observó una interacción grupo x tiempo.

Por otro lado, la diferencia entre el presente estudio y el estudio 1 en las cargas desplazadas a más de $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ podrían explicarse por el mayor tiempo transcurrido entre la última sesión de entrenamiento y la realización del test final. En el estudio II transcurrieron ocho días entre la última sesión y el test final, mientras que en el estudio I fue de 3-4 días. Además, en el estudio II se añadió una sesión de activación de muy baja carga a los 3-4 días después de terminar la última sesión de entrenamiento, lo cual pudo facilitar la recuperación física sin perder el efecto del entrenamiento. Además, este mayor tiempo de recuperación podría haber influido en una mayor recuperación post entrenamiento de las fibras tipo IIX, lo que podría influir de manera positiva en un mayor rendimiento de este tipo de fibras, que se expresaría en una mayor velocidad ante

las mismas cargas absolutas. Esta sugerencia se basa en el hecho de que se ha observado que después de un periodo de desentrenamiento tras un ciclo de entrenamiento de fuerza se produjo una recuperación de las fibras IIX hasta niveles incluso superiores a los previos al entrenamiento (Andersen y Aagaard, 2000).

Además de las variables evaluadas con respecto a la fuerza dinámica máxima, se llevó a cabo una estimación diaria de la RM a través de la velocidad de ejecución en cada sesión de entrenamiento y una medición diaria del CMJ con el objetivo de conocer la evolución de estas variables en cada grupo a lo largo del ciclo de entrenamiento. De este modo se pudo comprobar cómo ambos grupos de entrenamiento mostraron una clara tendencia hacia la mejora de la RM a lo largo de las 6 semanas de duración del estudio, con una diferencia estadísticamente significativa en ambos grupos con respecto al pre-test a partir de la quinta sesión en el grupo de carga alta y de la sexta en el grupo de carga baja. Sin embargo, la evolución del CMJ no presentó este comportamiento en el grupo de carga alta (ver figura X), observándose que prácticamente se mantiene estable y solo aumenta en las últimas sesiones. Esta tendencia no se observó en el grupo de carga baja, que sí obtuvo una mejora ascendente en cada sesión de entrenamiento. Estos comportamientos ponen de manifiesto que los efectos de las cargas bajas y altas son diferentes en función de la velocidad a la que se midan. Dado que el ejercicio de CMJ no se entrenó, sino que sólo se medía con tres saltos dos veces a la semana, los resultados de nuestro estudio sugieren que una misma mejora en la RM en el ejercicio de sentadilla no produce el mismo efecto a altas velocidades, estimado este efecto a través del ejercicio de CMJ. Esto significa que el entrenamiento con cargas bajas, que permiten una mayor velocidad absoluta de ejecución y una menor fatiga en nuestro caso, puede tener un mayor efecto sobre la producción de fuerza en la unidad de tiempo, que es el principal objetivo de cualquier tipo de entrenamiento. Estos hechos son muy importantes desde el punto de vista práctico, pues nos indican que, ante un mismo volumen, el entrenamiento con cargas bajas no sólo puede resultar más eficaz en determinados tipos de rendimiento, sino que también es mucho más eficiente, pues puede proporcionar mayor beneficio con menor trabajo y grado de fatiga.

Efectos sobre la capacidad de salto vertical (CMJ). Además del análisis de la evolución del CMJ a lo largo del ciclo, tras la aplicación del programa de entrenamiento se observó una interacción significativa *grupo x tiempo* ($P < 0.01$), lo cual indicó que el grupo de carga baja obtuvo mayores mejoras del salto vertical que el grupo de carga alta, aun habiendo mejorado ambos grupos en esta variable. Estos resultados demuestran que el entrenamiento de fuerza con cargas altas no aporta una mejora superior a la ofrecida por el entrenamiento con cargas bajas, existiendo incluso un mejor efecto a favor de este grupo tras el programa de entrenamiento.

Los efectos observados en esta variable podrían justificarse como resultado de la especificidad de la velocidad del entrenamiento ya que, a pesar de la mejora experimentada por ambos grupos, es posible que el mayor efecto a favor del grupo de carga baja venga explicado en cierta medida por la alta velocidad absoluta a la que entrenó este grupo, siendo ésta más cercana a la velocidad de un salto sin carga. Además, el hecho de realizar cada repetición de entrenamiento con la intención de desplazar la carga a la máxima velocidad conllevaría, por un lado, un mayor efecto sobre los factores neurales a la hora de reclutar en mayor medida las fibras de contracción rápida (Hakkinen y Komi, 1985) y, por otro lado, una mejora del rendimiento físico específico (Pareja-Blanco et al., 2014). En cuanto a la fatiga producida por ambos entrenamientos, medida a través de la pérdida de velocidad en la serie, parece ser que no fue lo suficientemente alta como para comprometer la aplicación de fuerza en la unidad de tiempo en el salto vertical, por lo que añadiría otro factor más a tener en cuenta en la mejora observada. Por último, la similitud biomecánica entre el ejercicio entrenado y el CMJ, con una triple extensión de cadera, rodilla y tobillo en ambos gestos, y realizados en el plano frontal, también contribuiría a la mejora observada en esta variable en ambos grupos de entrenamiento sin la necesidad de haber entrenado el ejercicio de salto específicamente.

En el estudio llevado a cabo por Cormie et al., (2010), estos autores observaron que, tras la aplicación de dos entrenamientos de fuerza con diferentes intensidades (75 – 90% de 1RM vs. 0 – 30% de 1RM) y pocas repeticiones por serie, sin alcanzar el fallo muscular, ambos grupos de entrenamiento mejoraron su salto vertical. Estos resultados refuerzan los obtenidos en el presente estudio sobre la mejora del rendimiento en esta variable en ambos grupos, independientemente del entrenamiento de fuerza que realicen,

confirmando, por lo tanto, que los efectos del entrenamiento de fuerza con carga alta no son superiores a los observados en el entrenamiento de carga baja. Sin embargo, tanto el volumen de entrenamiento, el cual no fue igualado entre ambos grupos, como los ejercicios realizados ($\frac{1}{2}$ sentadilla para el grupo de carga alta y salto con carga para el de carga baja) fueron diferentes a los propuestos en nuestro estudio. En esta misma línea, Lamas et al., (2012) compararon los efectos de dos programas de entrenamiento con cargas altas (4 – 10RM) o bajas (30 – 60% de 1RM) en el ejercicio de sentadilla sobre la mejora de la fuerza y el salto vertical. Estos autores observaron que ambos grupos de entrenamiento produjeron un efecto positivo sobre la mejora del salto vertical sin contramovimiento (SJ), mientras que la mejora en el CMJ solo se produjo en el grupo de carga baja. Sin embargo, la programación del entrenamiento para el grupo de carga alta se realizó con un número de repeticiones hasta el fallo muscular y un volumen total de entrenamiento mayor, por lo que probablemente estos dos factores hayan limitado una mejor evolución del CMJ en dicho grupo. Aun así, estos resultados indican la misma tendencia que los del presente estudio, en el sentido de un probable mejor efecto del entrenamiento de fuerza con cargas bajas en el CMJ en comparación con el entrenamiento con cargas altas. Por otro lado, en un protocolo de entrenamiento similar al realizado en el presente estudio, Mora-Custodio et al., (2016) observaron que ambos grupos de entrenamiento (carga alta vs. carga baja) mejoraron su salto vertical, con una interacción grupo x tiempo a favor del grupo de carga baja. Estos resultados también son coincidentes con los nuestros, por un lado, por la mejora del salto vertical en ambos grupos de entrenamiento, independientemente de la carga utilizada y, por otro lado, y especialmente, por el mejor efecto observado en el presente estudio a favor del grupo de carga baja ($P < 0.01$).

Parece evidente, por lo tanto, que el entrenamiento de fuerza con intensidades bajas y pocas repeticiones por serie en el ejercicio de sentadilla completa, así como en otros ejercicios, ofrece mejores efectos sobre la capacidad de salto en comparación al entrenamiento de fuerza con cargas altas, tanto si se realiza con un número de repeticiones bajo como si se entrena hasta el fallo muscular.

Adicionalmente, como ya se ha discutido previamente, al igual que en el estudio 1, se llevó a cabo la medición diaria del salto vertical con el objetivo de conocer su evolución durante todas las sesiones en ambos grupos de entrenamiento. Así, se pudo observar

cómo el grupo de carga baja obtuvo claramente una evolución más marcada hacia la mejora del salto vertical, mostrando una mejora estadísticamente significativa con respecto al grupo de carga alta desde la sesión 4 hasta el final del ciclo de entrenamiento. Sin embargo, el grupo de carga alta pudimos observar que hasta la sesión número 7 el salto vertical estuvo por debajo de sus valores iniciales, coincidiendo con un índice de esfuerzo muy elevado hasta esa misma sesión. A partir de ahí se observó un aumento del CMJ por encima de sus valores iniciales y, aunque estos no fueron significativos, son al menos interesantes al comprobar que a partir de esa sesión se produce una disminución en el índice de esfuerzo en este grupo. Por lo tanto, sería interesante tener en cuenta la propuesta de González-Badillo et al. (2017) sobre este índice como una herramienta más para el control del grado de esfuerzo en el entrenamiento de fuerza.

Efectos sobre la pérdida de salto vertical. En cuanto a la fatiga producida en cada sesión de entrenamiento, además de la pérdida de velocidad en la serie, éste es el primer estudio experimental en el que se midió la pérdida de salto vertical tras cada sesión de entrenamiento. Los datos observados no mostraron una diferencia entre grupos en la pérdida media de salto vertical en el ciclo de entrenamiento, aunque sí se observaron diferencias entre grupos en las sesiones 2, 3 y 4, con una pérdida mayor para el grupo de carga alta. Esta información podría ser de gran relevancia ya que el índice de esfuerzo observado (producto de la velocidad inicial por la pérdida de velocidad en la serie) a lo largo de las sesiones del ciclo de entrenamiento obtuvo sus valores más elevados precisamente en las sesiones 2, 3 y 4 en el grupo de carga alta. Por lo tanto, estos resultados reforzarían esta reciente propuesta para cuantificar el grado de esfuerzo de la sesión de entrenamiento que ha sido descrita recientemente por González-Badillo et al. (2017) y podrían explicarlos en gran medida. Adicionalmente, aunque en el resto de sesiones no se observaron diferencias significativas en la pérdida de salto, sería interesante destacar que en las sesiones 5, 6 y 9 estas pérdidas fueron mayores, aunque no de manera significativa, en el grupo de carga alta, observándose un índice de esfuerzo mayor para este grupo en dichas sesiones de entrenamiento. Por último, el grupo de carga baja obtuvo mayores pérdidas en el salto vertical en las sesiones 7 y 8 con respecto al grupo de carga alta, acompañadas a su vez por un índice de esfuerzo mayor para este grupo en dichas sesiones, hecho que volvería a reforzar esta propuesta como una variable más a tener en cuenta en la cuantificación del grado de esfuerzo.

Sánchez-Medina y González-Badillo (2011) fueron los primeros autores que evaluaron la pérdida de salto vertical tras la realización de una serie de esfuerzos como una variable más a tener en cuenta en la cuantificación de la fatiga neuromuscular. Así, en los esfuerzos analizados en este estudio, que podrían compararse con los presentados en el nuestro, las pérdidas de salto observadas por estos autores fueron menores. Estas diferencias podrían deberse al grado de experiencia previa de los sujetos evaluados, ya que el estudio llevado a cabo por estos autores se realizó en sujetos con una experiencia de entre 3 y 5 años en el entrenamiento de fuerza, mientras que en nuestro estudio los participantes eran sujetos físicamente activos en los que había tanto sujetos fuertes como débiles, por lo que seguramente el mismo estímulo de entrenamiento pudo provocar respuestas distintas en el salto vertical tras cada sesión. Sin embargo, en el estudio llevado a cabo por González-Badillo et al. (2016) en sujetos jóvenes y físicamente activos se observó una pérdida en torno al 22% en el salto vertical tras la realización de un esfuerzo de 3x4(8) (como término medio, ~80% de 1RM en sentadilla). Estos valores de pérdida de salto estuvieron más cercanos a los observados en nuestro estudio en la sesión correspondiente a un esfuerzo de 4x4(8) (20% de pérdida de salto), por lo que la similitud entre estos resultados y los nuestros podría venir explicada por el nivel similar de los sujetos participantes.

Efectos sobre el salto vertical con cargas externas (CMJc). Tanto el grupo de carga alta como el grupo de carga baja mostraron una mejora significativa de la velocidad media del test con cargas comunes en el salto con cargas externas, tomando como referencia la velocidad máxima alcanzada ante cada carga. Los resultados obtenidos podrían explicarse por la mejora observada de la velocidad ante todas las cargas en el ejercicio de sentadilla completa, así como por la mejora que se produjo en el salto sin carga. Así, una mejora de la velocidad ante cada carga (desde un salto sin carga hasta la máxima carga desplazada) implicaría una mayor aplicación de fuerza en la unidad de tiempo, haciendo que cada carga se desplazara a una velocidad mayor. La realización del ejercicio de entrenamiento con la intención de desplazar la carga a la máxima velocidad explicaría en gran medida estos resultados, ya que se ha demostrado un mayor reclutamiento de unidades motoras de contracción rápida cuando se realiza cada repetición a la máxima velocidad (Desmedt y Godaux, 1977; Duchateau y Enoka, 2011). Además, el bajo número de repeticiones por serie no implicó una fatiga elevada en el entrenamiento, por lo que no comprometió la aplicación de fuerza en el plano

frontal en ninguno de los dos grupos. Estos factores, además de las similitudes biomecánicas entre el ejercicio entrenado y el analizado en este apartado, podrían ser los responsables de la mejora experimentada en ambos grupos de entrenamiento en la velocidad máxima del salto con carga. Por lo tanto, el entrenamiento de fuerza con cargas bajas resultó ser igual de efectivo que el entrenamiento con cargas altas, por lo que no sería necesario recurrir a un mayor grado de esfuerzo en el entrenamiento para la mejora de la velocidad máxima en el salto con carga.

En relación a los estudios que analizan la mejora en el salto vertical con cargas externas tras la aplicación de dos entrenamientos con distintas intensidades, Smilios et al., (2013) fueron los únicos autores que midieron la velocidad máxima antes y después del ciclo de entrenamiento. Estos autores observaron una mejora de la velocidad en el salto con las cargas del 20, 35, 50, 65, y 80% de 1RM en ½ sentadilla en el grupo de entrenamiento de carga alta (90% de 1RM realizando el ejercicio ½ sentadilla), así como en el grupo que entrenó con la carga de máxima potencia sin tener en cuenta el peso corporal (48 – 58% de 1RM). Por otra parte, el segundo grupo de carga baja, que entrenó con la carga de máxima potencia teniendo en cuenta el peso corporal (20 – 37% de 1RM) mejoró la velocidad en todas las cargas excepto en la del 65% de 1RM. Estos resultados están en línea con los observados en nuestro estudio, ya que independientemente de la carga de entrenamiento empleada, la velocidad máxima con las cargas comunes del pre-test se vio aumentada tras la aplicación de un programa de entrenamiento. Sin embargo, aunque los resultados, al igual que en nuestro estudio, indican que no es necesaria la aplicación de una intensidad alta de entrenamiento para conseguir los mejores efectos en esta variable, debemos tener en cuenta que en el estudio de Smilios et al. (2013) los ejercicios de entrenamiento fueron la ½ sentadilla y el salto con carga.

En relación a los estudios que miden el rendimiento en este ejercicio a través de la altura del salto, Jones et al., (2001) observaron que tras la aplicación de dos programas de entrenamiento de distintas intensidades (40 – 60% vs. 70 – 90% de 1RM) hubo una tendencia hacia la mejora a favor del grupo de carga baja en la altura del salto con carga con el 30 y el 50% de 1RM en sentadilla, mientras que en el grupo de carga alta no se observó ningún efecto. Estos resultados no mostraron un efecto significativo en la altura del salto con carga en ninguno de los dos grupos de entrenamiento, pero la tendencia

observada por el grupo de carga baja podría sugerir que este tipo de entrenamiento ofrecería mejores efectos en comparación con el de carga alta. En controversia con nuestro estudio, aunque el rango de intensidades programado fue el mismo, estos autores aplicaron un programa de entrenamiento con varios ejercicios para la mejora de la fuerza de los miembros inferiores, por lo que, unido a que el grupo de carga baja realizó un mayor número de repeticiones con respecto a las realizadas por el grupo de carga alta, podrían explicar las diferencias entre este estudio y el nuestro. Cormie et al., (2010), observaron una mejora en la altura del salto con todas las cargas medidas (20 - 40 - 60 y 80% de 1RM en ½ sentadilla) en ambos grupos de entrenamiento, por lo que según estos resultados parece ser que tanto las cargas altas como las bajas son igualmente eficaces en la mejora de la capacidad de salto en individuos relativamente débiles. Sin embargo, aunque estos resultados refuerzan los obtenidos en el presente estudio, es importante destacar que el grupo de carga alta entrenó el ejercicio de ½ sentadilla con intensidades entre el 75 – 90% de 1RM, mientras que el grupo de carga baja entrenó con el ejercicio de salto con carga y unas intensidades que oscilaban entre el 0 y el 30% de 1RM en ½ sentadilla. En conjunto, todos estos resultados y los nuestros sugieren que las cargas bajas tienden a producir mejores resultados que las altas sobre el salto con carga en cualquiera de los ejercicios de entrenamiento citados.

Efectos sobre la capacidad de sprint (0 – 30m). Uno de los hallazgos más relevantes de la presente investigación fue la interacción *grupo x tiempo* observada en T10-20 a favor del grupo de carga baja. Adicionalmente se observó una mejora significativa en este mismo grupo en el tiempo en recorrer las distancias de 10–20, 20 y 30 metros tras la realización del programa de entrenamiento, mientras que en el grupo de carga alta no se produjo ningún efecto. Por lo tanto, parece ser que el entrenamiento de carga baja en el ejercicio de sentadilla completa sí es capaz de producir una mejora sobre la capacidad de sprint. La diferencia observada a favor del grupo de carga baja podría explicarse por la mayor velocidad absoluta de entrenamiento y por la menor fatiga producida en cada serie. Así, aunque ambos grupos entrenaron con la intención de desplazar la carga a la máxima velocidad, la velocidad media del ciclo de entrenamiento fue mayor para el grupo de carga baja, es decir, el número de repeticiones realizado a una velocidad absoluta alta fue mayor en el grupo de carga baja. Adicionalmente, la pérdida de velocidad en la serie podría ser otro de los factores importantes en el efecto sobre la capacidad de sprint, pues la menor pérdida observada en el grupo de carga baja no

comprometió, e incluso mejoró, la aplicación de fuerza en la unidad de tiempo en el sprint.

Estos resultados no coinciden con los observados en el estudio 1, donde no se mejoró el tiempo en ninguna distancia para ningún grupo, aumentando incluso en 20 metros en el grupo de carga alta. Estas diferencias observadas podrían explicarse por el mayor tiempo de descanso o recuperación entre la última sesión de entrenamiento y el test final en el presente estudio, pues como ya se ha comentado anteriormente, los 7-8 días transcurridos entre la última sesión y el test final, además de una sesión intermedia como activación, podrían haber facilitado una mejor recuperación física sin interferir en el efecto del entrenamiento. Además, este factor podría haber influido en una mayor recuperación de las fibras tipo IIx, sobre todo en el grupo de carga baja, que acusó menor fatiga en el entrenamiento con respecto al grupo de carga alta, lo cual implicaría un mejor rendimiento de este tipo de fibras, tal y como se ha observado en algunos estudios previos (Andersen y Aagaard, 2000). Además, en comparación con los valores del estudio 1, se puede observar que los sujetos del presente estudio tenían unos valores absolutos más bajos en la capacidad de sprint, por lo que también este hecho pudo contribuir a que se produjese una mejora más marcada en las distancias evaluadas debido al mayor efecto del entrenamiento, aunque esta cuestión se analizará en profundidad en el estudio III de la presente tesis doctoral.

Estos resultados están en línea con los observados en algunos estudios que han tratado los efectos del entrenamiento de fuerza con diferentes intensidades y su efecto sobre la capacidad de aceleración (Wilson et al., 1993; Blazeovich & Jenkins, 2002; McBride et al., 2002; Cormie et al., 2010; Sáez de Villarreal et al., 2012; Mora-Custodio et al., 2016). En este sentido, Cormie et al. (2010) mostraron una mejora en el tiempo en recorrer 40 metros tras la aplicación de un programa de entrenamiento de fuerza con distintas intensidades en ambos grupos de entrenamiento, tanto en el de carga alta (70 – 90% de 1RM) como en el de carga baja (0 – 30% de 1RM). Sin embargo, en las distancias similares a las del presente estudio, el grupo de carga alta no presentó ningún efecto significativo en 10, 20 ni 30 metros, mientras que el grupo de carga baja sí obtuvo una mejora tanto en los 20 como en los 30 metros. Estos resultados coinciden con los nuestros en cuanto al mejor efecto aportado por la carga baja en la capacidad de sprint.

En relación con el resto de los estudios que analizaron los efectos sobre la distancia de 30 metros tras la aplicación de dos programas de entrenamiento de fuerza con distinta intensidad (carga alta vs. carga baja), tanto Wilson et al., (1993), donde el grupo de carga alta entrenó el ejercicio de sentadilla (6–10RM), y el grupo de carga baja lo hizo en el salto con carga (30% FIM), como Sáez de Villarreal (2012), en el que se realizaron varios grupos de entrenamiento con ejercicios de sentadilla completa (~ 1.00 a $0.6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$), $\frac{1}{2}$ sentadilla (desde la carga de máxima potencia hasta una carga del 30% superior a dicha carga), saltos con carga (con cargas desde un 30% inferior a la de máxima potencia hasta entrenar con esa misma carga), y una combinación de estos tres ejercicios con las mismas intensidades ya citadas, no observaron ningún cambio en el tiempo empleado en recorrer esta distancia. Sin embargo, en otros estudios en los que se ha evaluado la mejora del rendimiento en distancias más cortas (10 y 20 metros), los efectos han sido dispares. Así, tanto Blazeovich et al., (2002), entrenando con distintas cargas en el ejercicio de sentadilla (70 – 90% de 1RM vs. 30 – 50% de 1RM) como McBride et al., (2002) en el ejercicio de salto con carga (30% vs 80% de 1RM), observaron un aumento del tiempo en el sprint en 20 metros para los grupos de carga alta, mientras que para los grupos de carga baja se observó, por un lado, un aumento del tiempo (Blazeovich et al., 2002) y, por otro lado, una tendencia hacia un mejor rendimiento (McBride et al., 2002). En oposición con estos estudios, Mora-Custodio et al., (2016) si observaron una mejora de la capacidad de sprint en las distancias de 10 y 20 metros en dos grupos de mujeres jóvenes que siguieron un programa de entrenamiento similar al realizado en el presente estudio. Por tanto, es probable que el efecto sobre el sprint esté en relación con bajas intensidades relativas, lo que permite una alta velocidad absoluta de ejecución, y con una escasa fatiga o grado de esfuerzo generado en la serie.

Efectos sobre la respuesta hormonal al entrenamiento de fuerza. En cuanto a la respuesta hormonal, este es el primer estudio en el que se analizaron los efectos crónicos que se producen sobre la testosterona, el cortisol, la GH y la IGF-1 tras la aplicación de dos tipos de entrenamientos de fuerza distintos en intensidad e iguales en cuanto al número de repeticiones totales de cada grupo. El principal hallazgo de este estudio fue la interacción *grupo x tiempo* observada tanto en el ratio T/C como en todas las hormonas medidas, excepto en la GH, en la que no se observó ningún cambio. Además, el entrenamiento realizado por el grupo de carga alta mostró un aumento

significativo de la testosterona, mientras que en el grupo de carga baja se observó una disminución significativa en esta hormona. En cuanto al cortisol, en el que se observaron diferencias significativas entre grupos en el pre-test, el grupo de carga alta experimentó una disminución significativa en su concentración basal, observándose un aumento en el grupo de carga baja, que no llegó a ser significativo, pero sí mostró una tendencia hacia la significatividad [$P = 0.067$; TE: 0.61 (0.25; 0.96)] con un *muy probablemente* aumento en su concentración (97/3/0) tras el entrenamiento de fuerza. Estos cambios observados tanto en la testosterona como en el cortisol provocaron que el ratio T/C, en el cual había una diferencia entre grupos en el pre-test, se viese modificado en ambos grupos, con un aumento en el grupo de carga alta ($P < 0.01$) y una disminución tras el entrenamiento de carga baja ($P < 0.01$), no existiendo diferencia entre grupos en el post-test. Por otro lado, ni las concentraciones de GH ni IGF-1 mostraron un cambio significativo tras el entrenamiento de fuerza en ninguno de los dos grupos. Sin embargo, sí se observó una tendencia hacia la disminución en la IGF-1 en el grupo de carga alta ($P = 0.067$).

La evolución contraria observada en la testosterona entre ambos grupos podría venir explicada principalmente por la intensidad de la carga de entrenamiento, ya que esta variable, en conjunto con el volumen, son las principales responsables de la respuesta de esta hormona al entrenamiento de fuerza (Kraemer y Ratamess, 2005). En el presente estudio el volumen de entrenamiento se igualó en los dos grupos, por lo que se podría sugerir que los cambios observados en el grupo de carga alta podrían venir explicados por la mayor intensidad de su programa de entrenamiento, mientras que la disminución de la concentración de testosterona observada en el grupo de carga baja podría ser una respuesta a la menor intensidad de entrenamiento tras las 6 semanas de duración del presente estudio. Sin embargo, es importante destacar que en un estudio llevado a cabo por Gorostiaga et al., (2004) se realizó un entrenamiento con cargas bajas que produjo una disminución de la testosterona en la semana 4 y, posteriormente un aumento en la semana 11 con respecto al pre-test. Estos datos podrían sugerir que la duración del ciclo de entrenamiento del presente estudio también pudo ser un factor a tener en cuenta en la disminución de la concentración de testosterona, por lo que una mayor duración, manteniendo la progresión de la intensidad, posiblemente conllevaría un aumento de esta hormona sobre los valores de reposo, tal y como se han indicado algunos estudios en los que se observó un aumento en la concentración de testosterona y una disminución

en el cortisol como respuesta al entrenamiento de fuerza de larga duración (Staron et al. 1994; Kraemer et al. 1995; Gorostiaga et al., 2004). Las conclusiones de estos estudios también nos servirían para explicar la respuesta crónica de la hormona cortisol en nuestro trabajo, ya que a pesar de que no exista un consenso en la literatura sobre la respuesta crónica del cortisol al entrenamiento de fuerza ni en hombres ni en mujeres, la duración del ciclo de entrenamiento podría explicar lo ocurrido también en la respuesta observada en esta hormona en el grupo de carga baja, ya que en nuestro estudio se observó un aumento de su concentración tras las 6 semanas de entrenamiento, por lo que se podría sugerir que un ciclo de entrenamiento más prolongado en el tiempo podría inducir a una disminución en el cortisol en este grupo de entrenamiento. Los resultados observados por Gorostiaga et al., (2004) reforzarían esta idea al mostrar una disminución de su concentración tras las 11 semanas de duración de su estudio, mientras que en las primeras semanas de entrenamiento no se evaluó, pero observando la respuesta de la testosterona se podría suponer que el cortisol habría aumentado. Adicionalmente, la reducción del cortisol observada en el grupo de cargas altas podría explicarse por la evolución del índice de esfuerzo, ya que su valor en las primeras sesiones de entrenamiento es muy elevado en comparación con las últimas sesiones del ciclo, donde experimenta un descenso considerable. Esto podría sugerir que en las primeras sesiones de entrenamiento el grupo de carga alta experimentase un aumento del cortisol debido al mayor índice de esfuerzo en las cargas empleadas, mientras que la reducción de este índice podría haber sido una de las causas por las que el cortisol se haya visto disminuido tras el ciclo de entrenamiento, mostrando que las últimas sesiones de entrenamiento no supusieron un nivel de estrés tan elevado en este grupo respecto a las primeras sesiones.

Por lo tanto, el entrenamiento con cargas altas supuso un estrés en el organismo asociado a esta respuesta hormonal tanto de la testosterona como del cortisol, tal y como se ha comprobado en algunos estudios (Staron et al., 1994). Sin embargo, estos autores propusieron un entrenamiento de fuerza basado en la realización de 3 ejercicios llevados hasta el fallo (6 a 12 RM) durante 8 semanas de entrenamiento, mientras que en nuestro estudio las intensidades relativas en el grupo de carga alta fueron las mismas, pero con un número menor de repeticiones por serie. Estos resultados podrían indicar que el entrenamiento de fuerza con cargas altas y un número reducido de repeticiones por serie produciría los mismos efectos hormonales crónicos que el entrenamiento llevado hasta

el fallo muscular con las mismas intensidades en sujetos de las características descritas en este estudio.

Estas evoluciones observadas en la testosterona y el cortisol implicaron un aumento en el ratio T/C en el grupo de carga alta y un descenso del mismo en el grupo de carga baja, por lo que, según este indicador, se podría sugerir que el entrenamiento de carga alta produjo un estado anabólico en este grupo de sujetos, mientras que el entrenamiento de carga baja produciría un estado catabólico. Sin embargo, a pesar de que algunos autores encuentran que cuanto más disminuye el ratio T/C más tiende a disminuir el rendimiento físico (Hoogeveen & Zonderland, 1996), nuestros resultados no están de acuerdo con los obtenidos por estos autores, ya que la mejora del rendimiento tiende a ser mayor en el grupo de carga baja que en el de carga alta, por lo que estos resultados habría que tomarlos con cierta cautela a la hora de interpretarlos, tal y como se ha explicado anteriormente.

En cuanto a la evolución de la GH y la IGF-1, nuestros resultados no mostraron cambios significativos en sus concentraciones basales en ninguno de los dos grupos, por lo que estarían en línea con los observados en los estudios que analizan la respuesta de estas hormonas al entrenamiento de fuerza. Algunos autores han observado que el entrenamiento de fuerza no influye en las concentraciones basales de GH ni en hombres ni en mujeres (Hakkinen, Pakarinen, Kraemer, Newton, & Alen, 2000), así como en levantadores olímpicos (Hakkinen et al., 1988) o atletas de fuerza (Ahtiainen, Pakarinen, Alen, et al., 2003) en comparación con sujetos poco entrenados. En relación con la IGF-1, según se ha podido observar en algunos estudios, para que se produzca un aumento en las concentraciones de IGF-1 sería necesario que el ciclo de entrenamiento se prolongase en el tiempo y estuviese acompañado por un alto volumen de entrenamiento (Borst et al., 2001; Marx et al., 2001), mientras que un ciclo de entrenamiento de corta duración, como el que se realiza en el presente estudio, parece no tener efecto sobre los valores de reposo en esta hormona (McCall et al., 1999).

5.5 Conclusiones

1.- Ante un mismo volumen, el entrenamiento de fuerza a través del ejercicio de sentadilla completa el con cargas bajas (40 – 60% de 1RM) ofreció mayores mejoras que el entrenamiento con cargas altas (70 – 90% de 1RM) sobre algunas variables relacionadas con la fuerza (VMP y VMP<1) y el salto vertical (CMJ), así como similares mejoras en la RM, la VMP \geq 1 y el CMJc.

2.- El entrenamiento de fuerza con cargas bajas (40 – 60% de 1RM) en el ejercicio de sentadilla completa produjo una mejora significativa en la capacidad de sprint en 10–20, 20 y 30 metros, mientras que el entrenamiento de fuerza con carga alta (70 – 90% de 1RM) y un mismo volumen no produjo ningún cambio significativo en ninguna de las distancias de carrera evaluadas.

3.- Al igual que en el estudio I, una mayor fatiga, expresada a través de la pérdida de velocidad en la serie, producida por el entrenamiento de carga alta, no ha proporcionado mayor rendimiento en ninguna de las variables analizadas.

4.- El entrenamiento de fuerza con cargas bajas (40 – 60% de 1RM) produjo una respuesta hormonal crónica contraria a la observada con las cargas altas (70 – 90% de 1RM), provocando un aumento en la concentración basal de cortisol y un descenso en la testosterona y el ratio T/C, mientras que en el grupo de carga alta los cambios fueron contrarios en las mismas variables. Las concentraciones de IGF-1 y de GH permanecieron prácticamente iguales en los dos grupos.

5.6 Aplicaciones Prácticas

En línea con los resultados del estudio I, se recomienda que si se pretende mejorar el rendimiento físico, especialmente en acciones de alta velocidad absoluta, debería aplicarse un programa de entrenamiento con cargas bajas de características semejantes al utilizado en este estudio y no uno de cargas altas y una alta pérdida de velocidad en la serie.

6. ESTUDIO III. Efectos del entrenamiento de fuerza con cargas altas o bajas sobre la fuerza, el salto y el sprint en sujetos con distinto nivel de rendimiento inicial

6.1 Planteamiento del problema

Algunos autores sugieren que aquellos sujetos desentrenados o con niveles previos de fuerza más bajos experimentarían de un modo más fácil la mejora en la fuerza muscular inducida por el entrenamiento (Wilson, Murphy, & Walshe, 1997). En cambio, aquellos sujetos más entrenados o con experiencia previa en el entrenamiento requerirían de programas más específicos y de mayor carga para la mejora de la fuerza (Hakkinen, Komi, Alen, & Kauhanen, 1987). En este sentido, a la hora de tratar la carga de entrenamiento, algunos estudios parecen recomendar el empleo de cargas más bajas para sujetos principiantes y el empleo de cargas más altas para los sujetos con una mayor experiencia en el entrenamiento de fuerza (Kraemer & Ratamess, 2004), aunque estos protocolos son en su mayoría llevados hasta el fallo muscular, es decir, sea cual sea el nivel de rendimiento inicial, se propone entrenar con un carácter del esfuerzo máximo, sin contemplar la posibilidad de entrenar con un grado de esfuerzo (carácter del esfuerzo) distinto en función del nivel de rendimiento y experiencia inicial de los sujetos.

No hemos encontrado ningún estudio que clasifique a los grupos de entrenamiento como *fuertes* o *débiles* y realice un entrenamiento con la aplicación de niveles de carga distintos con el fin de conocer la posible interacción entre los niveles de carga y los niveles de rendimiento inicial.

Tampoco conocemos ningún estudio que haya llevado a cabo un análisis de varianza factorial con dos factores (*carga* y *rendimiento inicial*) y dos niveles en cada uno (cargas “altas” y “bajas” y sujetos “fuertes” y “débiles”) Ante esta probable falta de conocimiento en relación con esta problemática nos proponemos responder a las siguientes cuestiones:

1. ¿Existe interacción entre el factor *carga* con dos niveles de intensidades relativas (cargas del 70-90% de 1RM frente a cargas del 40-60% de 1RM), y el factor *rendimiento inicial*, con dos niveles (sujetos “fuertes” y “débiles”), en el

rendimiento en fuerza, salto y sprint cuando el entrenamiento se realiza a través del ejercicio de sentadila completa?

2. ¿Cuáles son los efectos principales de los factores *carga* y *rendimiento inicial* sobre la fuerza, el salto y el sprint cuando el entrenamiento se realiza a través del ejercicio de sentadila completa y se duplica el número de sujetos en cada uno de los factores?

6.1.1 Objetivos de la investigación

De los objetivos formulados previamente se derivan los siguientes objetivos:

1. Comprobar si existe interacción entre el factor *carga*, con dos niveles de intensidades relativas (cargas del 70 – 90% de 1RM frente a cargas del 40 – 60% de 1RM), y el factor *rendimiento inicial*, con dos niveles (sujetos “fuertes” y “débiles”), en el rendimiento en la fuerza, el salto y el sprint cuando el entrenamiento se realiza con un mismo volumen a través del ejercicio de sentadila completa.
2. Analizar los efectos principales de los factores *carga* y *rendimiento inicial* sobre la fuerza, el salto y el sprint cuando el entrenamiento se realiza a través del ejercicio de sentadila completa y se duplica el número de sujetos en cada uno de los factores.

6.1.2 Hipótesis

Admitiendo que el efecto del entrenamiento de estas cargas fuera como propone la literatura, según la revisión bibliográfica general de esta tesis y, especialmente, en el planteamiento de los problemas y la justificación de hipótesis anteriores, sería razonable pensar que los sujetos de más alto nivel necesitarían un entrenamiento de cargas altas y, por tanto, tendrían un efecto reducido ante cargas bajas, mientras que los de bajo nivel tendrían suficiente estímulo con el entrenamiento de cargas bajas, obteniendo igual o menor efecto con cargas altas. De darse este tipo de respuesta en ambos grupos, se produciría una interacción en los efectos producidos por los dos niveles de los dos factores o variables independientes: los sujetos “fuertes” tendrían efectos mayores ante cargas altas que ante las bajas y los “débiles” el efecto contrario. Sin embargo, en algunos estudios se ha observado que las cargas bajas ofrecían igual o mejor efecto que las cargas altas (Blazevich et al. (2002); Lamas et al. (2012); McBride et al. (2002); Mora-Custodio et al. (20016)). También se ha observado que ante las mismas cargas

relativas, una menor pérdida de velocidad en la serie (menor fatiga) tiende a ofrecer mejor resultado que el doble de pérdida, especialmente en los rendimientos caracterizados por una alta velocidad de ejecución absoluta (Pareja-Blanco et al., 2016). Por tanto, es probable que una carga baja de las características de la utilizada en este estudio (intensidades relativas bajas y pocas repeticiones por serie, es decir con baja fatiga), produzca unos efectos iguales o superiores a la carga alta, tanto en sujeto que hemos considerado como “fuertes” como en los considerados como “débiles”. Por lo tanto, en este estudio proponemos las siguientes hipótesis:

Hipótesis 1: No se observa interacción significativa entre el factor *carga* con dos niveles de intensidades relativas (cargas del 70 – 90% de 1RM frente a cargas del 40 – 60% de 1RM), y el factor *rendimiento inicial*, con dos niveles (sujetos “fuertes” y “débiles”), en el rendimiento en la fuerza, el salto y el sprint cuando el entrenamiento se realiza con un mismo volumen a través del ejercicio de sentadilla completa.

Hipótesis 2: Los dos grupos que entrenan con cargas bajas obtendrán resultados superiores en el CMJ y en la capacidad de sprint que los grupos que entrenan con cargas altas cuando se duplica el número de sujetos con respecto a los estudios I y II.

Hipótesis 3: Los sujetos de menor nivel de rendimiento (sujetos “débiles”) obtienen mejor resultado en todas las variables analizadas que los sujetos “fuertes” independientemente de la carga relativa utilizada.

6.2 Metodología

6.2.1 Tipo de Investigación

La metodología del presente estudio queda determinada por el tipo de investigación, así como por los objetivos de la misma, la naturaleza de las variables y el nivel de control sobre las mismas. Dadas las características de los datos, el estudio que se presenta forma parte de una investigación cuantitativa, en la que por el grado de manipulación de las variables y los objetivos de la misma se incluye dentro de una investigación experimental. Por el enfoque en el análisis de los datos, la investigación es de tipo inferencial y correlacional, además de tener un carácter longitudinal por el estudio de la evolución en la relación entre los cambios mecánicos y el rendimiento en el tiempo.

6.2.2 Diseño del Estudio

La presente investigación se diseñó en un intento de explicar el efecto del entrenamiento de fuerza con cargas altas (70 – 90% de 1RM) o cargas bajas (40 – 60% de 1RM) en sujetos de distinto nivel de rendimiento inicial (“fuertes” o “débiles”) en función de su RM en el ejercicio de sentadilla completa con respecto al peso corporal, sobre la capacidad de sprint, el salto y la fuerza en los miembros inferiores.

Para ello se formaron cuatro grupos en función de la *carga* y *el nivel de rendimiento inicial* (GFCA: grupo fuerte de carga alta, GFCB: grupo fuerte de carga baja; GDCA: grupo débil de carga alta, GDCB: grupo débil de carga baja) equivalentes en fuerza relativa (1RM en relación al peso corporal), que entrenaron durante 6 semanas en el ejercicio de sentadilla completa (SQ), con una frecuencia de 2 sesiones semanales, con el mismo número de repeticiones para ambos grupos contando tanto el calentamiento como el entrenamiento, diferenciándose en la intensidad relativa de entrenamiento, es decir, entrenando en rangos de velocidad distintos (GCB: 40 – 60% 1RM; 1.28 – 0.98 m·s⁻¹ vs. GCA: 70 – 90% 1RM; 0.84 – 0.51 m·s⁻¹). Adicionalmente, se realizó un estudio complementario con el objetivo de describir las respuestas mecánicas que produjo la aplicación de cada carga de entrenamiento.

Los test de evaluación se realizaron la semana previa a la semana 1 de entrenamiento y los post-test en la semana posterior a la semana 6 de entrenamiento. Las sesiones se realizaron en espacios de 1 hora y media durante todo el día, siendo estos horarios fijos para cada grupo de sujetos a excepción de algunos casos puntuales. Tanto los test como los entrenamientos se realizaron bajo unas condiciones medioambientales similares (20-22°C y 55-65% humedad).

6.2.3 Sujetos

De la suma de todos los sujetos de los dos estudios previos se realizó una asignación de “fuerte” o “débil” según el valor de la RM en el ejercicio de sentadilla completa con respecto a su peso corporal (1RMPC), resultando en 4 grupos de entrenamiento, considerando un sujeto “fuerte” aquel con 1RMPC > 120.5%, mientras que un sujeto “débil” sería aquel con una RMPC < 120.5%. Así, la muestra final, compuesta por un total de 74 sujetos, se distribuyó tal y como se presenta en la **Tabla 13** con sus respectivas características. Durante la duración del presente estudio, ninguno de los

sujetos realizó ningún otro tipo de entrenamiento específico de fuerza ni participó en alguna especialidad deportiva de manera sistemática.

Tabla 13. Características de los grupos experimentales. Media \pm desviación típica (dt).

| GRUPO | Edad (años) | Altura (m) | Peso (kg) |
|-------------|----------------|-----------------|----------------|
| GFCA | 23.1 \pm 2.3 | 1.77 \pm 0.05 | 75.6 \pm 4.2 |
| GDCA | 24.3 \pm 2.4 | 1.78 \pm 0.07 | 73.5 \pm 8.4 |
| GFCB | 23.5 \pm 2.6 | 1.78 \pm 0.05 | 76.2 \pm 5.7 |
| GDCB | 22.8 \pm 1.4 | 1.77 \pm 0.06 | 73.3 \pm 7.2 |

GFCA: Grupo fuerte de carga alta (n = 24); GDCA: Grupo débil de carga alta (n = 13). GFCB: Grupo fuerte de carga baja (n = 15); Grupo débil de carga baja (n = 22)

Todos los sujetos fueron informados sobre los procedimientos experimentales y los posibles riesgos y beneficios asociados a la participación en el estudio, firmando un consentimiento informado antes de la realización de las evaluaciones iniciales (ANEXO I).

6.2.4 Variables Objeto de Estudio

6.2.4.1 Variables Independientes

- Las variables independientes de este estudio fueron la *carga* de entrenamiento, alta (70 – 90% de 1RM) o baja (40 – 60% de 1RM), y el *nivel de rendimiento inicial* de los sujetos, “débil” o “fuerte”, divididos en función de su repetición máxima (RM) en el ejercicio de sentadilla en relación a su peso corporal.

6.2.4.1 Variables Dependientes

- Variables relacionadas con el rendimiento físico

- Fuerza dinámica máxima estimada en el ejercicio de sentadilla completa (1RM), en kg.
- Media de la velocidad media propulsiva de las cargas comunes en ambos tests para el ejercicio de sentadilla completa (VMP), en $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$.

- Media de la velocidad media propulsiva de las cargas comunes en ambos tests que podían ser desplazadas a una velocidad igual o superior a $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ en el Pre-test para el ejercicio de sentadilla completa ($\text{VMP} \geq 1$), en $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.
- Media de la velocidad media propulsiva de las cargas comunes en ambos tests cuya velocidad máxima sea inferior a $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ en el pre-test para el ejercicio de sentadilla completa ($\text{VMP} < 1$), en $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.
- Altura alcanzada en el salto con contramovimiento (CMJ), en cm.
- Tiempo empleado en recorrer la distancia de 10 metros a la máxima velocidad (T10), en s.
- Tiempo empleado en recorrer la distancia de 20 metros a la máxima velocidad (T20), en s.
- Tiempo empleado en recorrer el parcial de 10 a 20 metros a la máxima velocidad (T10 – 20), en s.

- Variables derivadas del análisis del entrenamiento realizado

- Mecánicas:

- Velocidad media del ciclo de entrenamiento: velocidad media alcanzada durante el programa de entrenamiento realizado, cuantificando tan solo las repeticiones realizadas con la carga de entrenamiento, es decir, excluyendo las repeticiones realizadas durante el calentamiento.
- Pérdida máxima de velocidad en cada sesión de entrenamiento: es la pérdida (%) de velocidad media propulsiva (VMP) entre la mejor repetición de la primera serie y la última repetición de la última serie.
- Pérdida media de velocidad en la serie: es la pérdida (%) de velocidad media propulsiva (VMP) entre la mejor repetición y la última de cada serie.

- Índice de esfuerzo (IE): es un indicador objetivo del grado de fatiga alcanzado el cual se calcula a través del producto de la velocidad de la mejor repetición con la carga máxima de la sesión (intensidad relativa) por la pérdida media de todas las series realizadas en esa sesión.
- Total de repeticiones realizadas a diferentes velocidades a lo largo de todo el ciclo de entrenamiento: Es el número total de repeticiones realizado a lo largo de todo el programa de entrenamiento dentro de cada rango de VMP, divididos en intervalos de $0.10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Por ejemplo, el número de repeticiones realizado entre las velocidades de 0.70 y $0.80 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

6.2.5 Procedimiento de evaluación

El procedimiento de evaluación de cada una de las pruebas se realizó de la manera descrita en el método del estudio I de la presente tesis doctoral. Véase *Método Estudio I*.

6.2.6 Entrenamiento

El entrenamiento que se realizó en los estudios I y II fue el mismo que se analizó en este estudio III. Sin embargo, en este estudio existió una diferencia con respecto a los otros dos estudios, y es la distribución de los sujetos tal y como se ha explicado anteriormente en el apartado *sujetos*.

6.2.7 Análisis estadístico

Se emplearon métodos estadísticos estándares para el cálculo de las medias y desviaciones típicas (DT). Se calculó el coeficiente de correlación intraclase (CCI) y el coeficiente de variación (CV) para comprobar la fiabilidad de determinadas variables. La homogeneidad de varianzas entre grupos se verificó usando el test de Levene. La prueba de Kolmogorov-mirnov se usó para comprobar la normalidad de la distribución en cada una de las variables. Los datos se analizaron utilizando un ANOVA factorial $2 \times 2 \times 2$ usando un primer factor entre grupos (sujetos fuertes vs. sujetos débiles), otro factor entre grupos (GCA vs. GCB), y un factor intra-grupos (Test 1 vs. Test 2). Se consideró un nivel alfa como $p \leq 0.05$. Además de este análisis de hipótesis nula, se

realizó un análisis basado en la magnitud de cambio (Batterham & Hopkins, 2006; Hopkins et al., (2009)). El tamaño del efecto (TE) se calculó usando la g de Hedges para estimar la magnitud del efecto del entrenamiento sobre las diferentes variables dentro de cada grupo, como sigue: $g = (\text{Test 2} - \text{Test 1}) / \text{DT combinada}$ (Hedges & Olkin, 1985). Además, se calculó la probabilidad de que los valores reales (desconocido) para cada grupo experimental fueran *beneficioso/mejor* [por ej. mayor que el mínimo cambio apreciable ($0.2 \times \text{DT entre-sujetos del Test 1}$, basado en el principio de TE de Cohen (Cohen, 1988))], *no claro*, *perjudicial/peor* para el rendimiento. La probabilidad cuantitativa de un efecto *beneficioso/mejor* o *perjudicial/peor* se calculó cualitativamente como sigue: <1%, casi seguro que no; 1-5%, muy poco probable; 5-25%, poco probable; 25-75%, posible; 75-95%, probable; 95-99%, muy probable; y >99%, casi seguro. Si las probabilidades de tener un efecto *beneficioso/mejor* o *perjudicial/peor* fueron ambas >5%, la verdadera diferencia se evaluó como *no clara* (Batterham & Hopkins, 2006; Hopkins et al., (2009)). Para el análisis basado en la magnitud de cambio se usó una hoja de Excel (Hopkins, 2006). El paquete estadístico SPSS 18.0 se usó para el resto del análisis.

6.3 Resultados

Las mediciones de salto y de la capacidad de sprint obtuvieron los siguientes valores de fiabilidad (**Tabla 14**):

Tabla 14: Coeficiente de correlación intraclase (ICC) y coeficiente de variación (CV) de las variables de salto y la capacidad de sprint.

| | CMJ | T10m | T10-20m | T20m |
|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| CCI (IC: 90%) | 0.996 (0.994; 0.997) | 0.922 (0.877; 0.950) | 0.938 (0.903; 0.960) | 0.949 (0.875; 0.979) |
| CV (%) | 1.6 | 1.8 | 2.4 | 1.0 |

En las **Figura 16a y 16b** se presenta la distribución del número de repeticiones por zonas de velocidad (intensidad relativa) una vez realizado el entrenamiento en cada uno de los 4 grupos, tanto con la carga máxima de cada sesión (A) como con el total de repeticiones realizado (B), contabilizando aquellas repeticiones realizadas con las cargas previas a la carga máxima. El número de repeticiones realizado por cada grupo con la carga máxima de cada sesión de entrenamiento fue muy semejante al programado. El GFCA y el GDCA realizaron 167.3 ± 8.1 y 167.8 ± 7.0 repeticiones, respectivamente, frente a las 171 programadas, mientras que el GFCB y el GDCB realizaron 211.1 ± 11.1 y 213.9 ± 0.5 , respectivamente, frente a las 214 programadas. Con respecto al número total de repeticiones programado, 316 para ambos grupos, contabilizando también las repeticiones realizadas antes de llegar a las series con la carga máxima de entrenamiento, el GFCA y el GDCA realizaron 303.7 ± 24.5 y 308.7 ± 14.3 , respectivamente, mientras que el GFCB y el GDCB realizaron 308.6 ± 21.6 y 314.9 ± 2.8 , respectivamente. Por lo tanto, los cuatro grupos realizaron un número de repeticiones similar al programado. Las escasas repeticiones perdidas por los grupos de carga alta se debieron a que algún sujeto en alguna ocasión no pudo completar las repeticiones programadas debido a la fatiga, mientras que en el grupo fuerte de carga baja se debió a la pérdida de alguna sesión de entrenamiento de algún sujeto.

La **Tabla 15** muestra la evolución de la pérdida de velocidad a lo largo del ciclo de entrenamiento para los 4 grupos, así como la velocidad media a la que entrenaron cada uno de ellos. Tanto el GFCA como el GDCA experimentaron una pérdida de velocidad mayor en todas las sesiones de entrenamiento con respecto a las alcanzadas por el GFCB y el GDCB. En los grupos de carga alta, las pérdidas medias del ciclo de

entrenamiento fueron de 19.5% para el grupo fuerte y de 20.4% para el grupo débil. Por otro lado, la pérdida media del GFCB fue de 9.2%, mientras que en el GDCB fue de 9.0%. Estos resultados muestran que los dos grupos de carga alta obtuvieron pérdidas de velocidad muy similares, mientras que los dos grupos de carga baja también presentaron valores similares entre ellos.

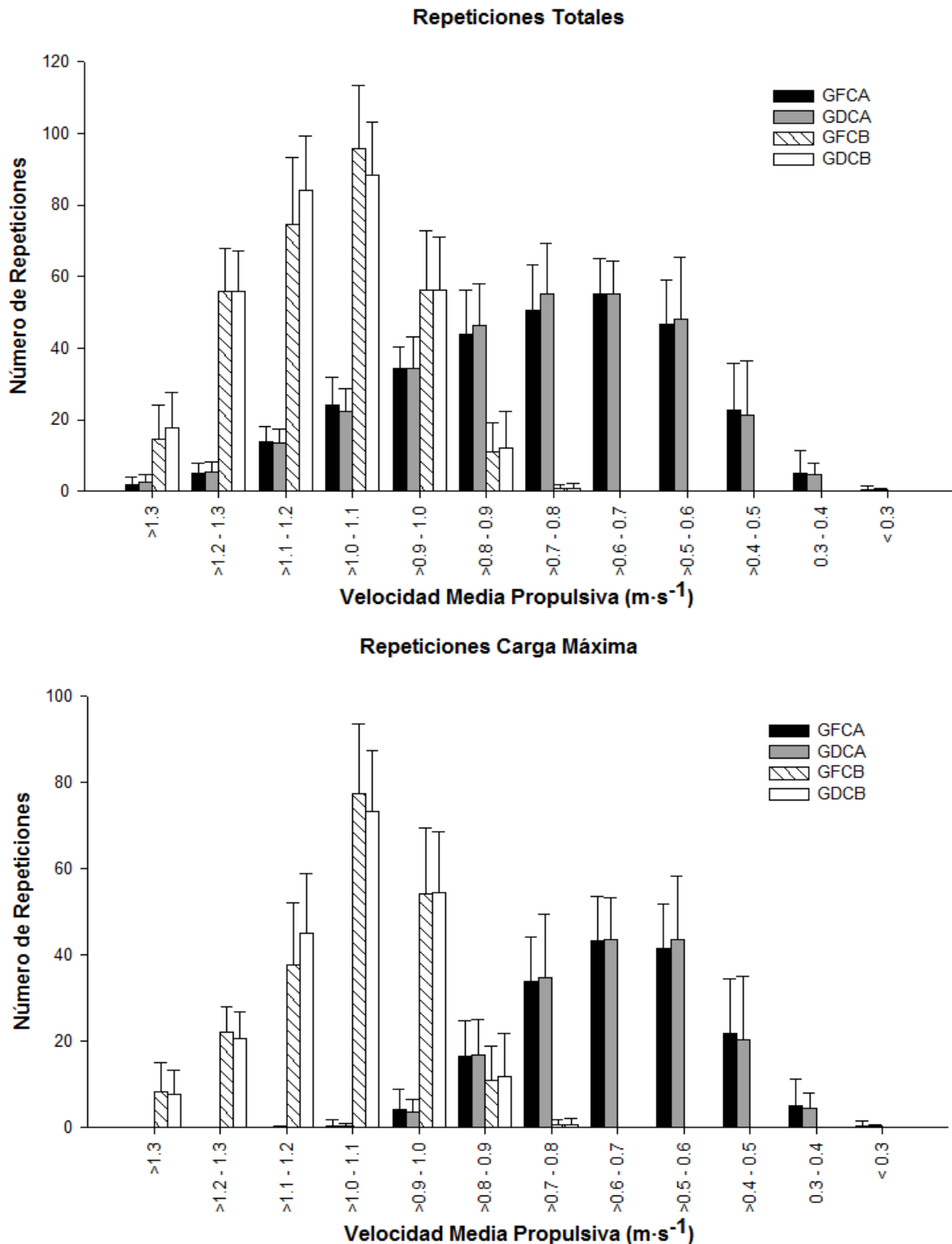


Figura 16. Número de repeticiones realizado con la carga máxima (A) y número de repeticiones

totales (B) por cada grupo en distintas zonas de velocidad (intensidad relativa) durante el ciclo de entrenamiento. **GFCA:** Grupo fuerte de carga alta (n=24). **GDCA:** Grupo débil de carga alta (n=13). **GFCB:** Grupo fuerte de carga baja (n=15). **GDCB:** Grupo débil de carga baja (n=22). **Repeticiones Carga Máxima:** Distribución de las repeticiones realizadas con la carga máxima de cada sesión. **Repeticiones Totales:** Distribución del total de repeticiones realizadas durante el ciclo de entrenamiento que comprenden las programadas previas a la carga máxima y las cargas máximas de cada sesión.

Tabla 15. Pérdida media de velocidad en cada sesión de entrenamiento

| | Sesión 1 | Sesión 2 | Sesión 3 | Sesión 4 | Sesión 5 | Sesión 6 | Sesión 7 | Sesión 8 | Sesión 9 | Sesión 10 | Sesión 11 | Sesión 12 |
|-------------|------------|------------|-------------|------------|------------|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| GFCB | 17.6 ± 6.4 | 26.3 ± 8.0 | 24.4 ± 9.6 | 26.4 ± 9.6 | 21.3 ± 8.9 | 26.1 ± 8.0 | 10.3 ± 4.9 | 19.9 ± 9.6 | 20.0 ± 8.6 | 15.3 ± 8.3 | 14.1 ± 6.5 | 14.3 ± 6.0 |
| GDCA | 21.8 ± 7.7 | 27.3 ± 6.4 | 27.3 ± 12.3 | 24.7 ± 8.8 | 20.4 ± 6.3 | 24.6 ± 10.2 | 11.1 ± 5.2 | 19.9 ± 8.5 | 19.5 ± 7.0 | 18.4 ± 8.5 | 13.3 ± 7.6 | 16.7 ± 6.2 |
| GFCB | 6.4 ± 3.4 | 6.9 ± 2.8 | 9.0 ± 2.3 | 9.4 ± 4.2 | 11.2 ± 3.9 | 9.8 ± 3.3 | 9.1 ± 3.0 | 13.7 ± 3.7 | 7.7 ± 4.1 | 8.9 ± 3.6 | 8.0 ± 3.4 | 10.8 ± 3.4 |
| GDCB | 5.9 ± 3.6 | 6.2 ± 3.1 | 8.8 ± 4.5 | 9.2 ± 4.9 | 11.2 ± 4.9 | 8.6 ± 5.4 | 8.3 ± 4.3 | 13.1 ± 5.1 | 7.7 ± 3.6 | 8.5 ± 3.4 | 9.3 ± 3.9 | 11.6 ± 3.8 |

| RESUMEN CICLO ENTRENAMIENTO | | | | |
|-----------------------------|-------------------|--------------------------------------|---------------------------|----------------------|
| | Pérdida Media (%) | Velocidad Media (m·s ⁻¹) | Repeticiones Carga Máxima | Repeticiones Totales |
| GFCB | 19.7 ± 5.5 | 0.64 ± 0.05 | 167.3 ± 8.1 | 303.7 ± 24.5 |
| GDCA | 20.4 ± 5.1 | 0.64 ± 0.05 | 167.8 ± 7.0 | 308.7 ± 14.3 |
| GFCB | 9.2 ± 2.0 | 1.06 ± 0.01 | 211.1 ± 11.1 | 308.6 ± 21.8 |
| GDCB | 9.0 ± 2.1 | 1.06 ± 0.02 | 213.9 ± 0.5 | 314.9 ± 2.8 |

Los valores son expresados como media ± desviación típica. **GFCB:** Grupo fuerte de carga alta (n=24). **GDCA:** Grupo débil de carga alta (n=13). **GFCB:** Grupo fuerte de carga baja (n=15). **GDCB:** Grupo débil de carga baja (n=22). **Pérdida Media:** Porcentaje medio de pérdida de velocidad de cada sesión de entrenamiento, calculado a partir de la media de las pérdidas de las series que conformaron cada sesión con la carga máxima del entrenamiento. La pérdida de cada serie se calculó como el porcentaje que representó la última repetición con respecto a la mejor repetición de dicha serie. **Velocidad Media:** Velocidad media del ciclo de entrenamiento contando todas las repeticiones realizadas con la carga máxima de cada sesión. **Repeticiones Carga Máxima:** Número de repeticiones realizadas en el ciclo de entrenamiento con la carga máxima de cada sesión. **Repeticiones Totales:** Número de repeticiones totales realizadas en el entrenamiento con todas las cargas de la sesión, tanto con la carga máxima diaria como las realizadas en las series previas a dicha carga.

En la **Tabla 16** se muestran los índices de esfuerzo de cada sesión para cada uno de los cuatro grupos de entrenamiento, así como la media total del ciclo. El índice de esfuerzo para el GFCA y el GDCA fue muy similar (14.7 vs. 15.2), respectivamente, siendo mayores que los índices de esfuerzo observados en el GFCB y el GDCB (10.4 vs. 10.2), respectivamente. Adicionalmente, se puede observar cómo los grupos de carga alta obtienen unos valores muy elevados en las primeras sesiones del ciclo con un descenso progresivo del mismo a medida que transcurren las sesiones de entrenamiento, mientras que los grupos de carga baja muestran una evolución más estable a lo largo de las 6 semanas. El descenso en el índice de la carga alta y el mantenimiento en la carga baja a lo largo del ciclo hicieron que en las últimas sesiones los valores del mismo fuesen muy similares en los cuatro grupos de entrenamiento, llegando incluso a ser mayores en los grupos de carga baja en algunas sesiones.

Tabla 16. Índice de esfuerzo en cada sesión de entrenamiento

| | Sesión 1 | Sesión 2 | Sesión 3 | Sesión 4 | Sesión 5 | Sesión 6 |
|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| GFCA | 16.2 ± 6.2 | 24.0 ± 7.7 | 19.4 ± 8.0 | 21.1 ± 7.4 | 15.0 ± 5.9 | 18.9 ± 5.7 |
| GDCA | 20.2 ± 7.3 | 25.3 ± 5.8 | 22.3 ± 9.1 | 19.4 ± 6.7 | 14.7 ± 4.9 | 18.1 ± 8.2 |
| GFCB | 8.4 ± 4.5 | 9.3 ± 3.7 | 10.6 ± 2.8 | 11.2 ± 4.8 | 13.1 ± 4.5 | 10.9 ± 3.5 |
| GDCB | 7.9 ± 4.8 | 8.1 ± 4.0 | 10.5 ± 5.4 | 10.9 ± 5.8 | 13.3 ± 5.7 | 9.5 ± 5.8 |

| | Sesión 7 | Sesión 8 | Sesión 9 | Sesión 10 | Sesión 11 | Sesión 12 | TOTAL CICLO |
|-------------|------------|------------|------------|------------|-----------|------------|-------------|
| GFCA | 6.6 ± 2.9 | 12.4 ± 5.9 | 12.8 ± 5.6 | 8.3 ± 4.2 | 8.0 ± 3.6 | 8.0 ± 3.4 | 14.7 ± 4.4 |
| GDCA | 7.6 ± 4.1 | 13.0 ± 5.9 | 12.9 ± 4.9 | 10.2 ± 4.6 | 7.4 ± 3.6 | 9.6 ± 3.5 | 15.2 ± 3.4 |
| GFCB | 10.0 ± 3.2 | 15.0 ± 4.1 | 7.9 ± 4.1 | 9.2 ± 3.7 | 8.4 ± 3.4 | 11.3 ± 3.4 | 10.4 ± 2.0 |
| GDCB | 9.1 ± 4.6 | 14.7 ± 5.7 | 8.0 ± 3.6 | 8.7 ± 3.3 | 9.7 ± 4.1 | 12.0 ± 4.1 | 10.2 ± 3.3 |

Los valores son expresados como media ± desviación típica **GFCA:** Grupo fuerte de carga alta (n=24). **GDCA:** Grupo débil de carga alta (n=13). **GFCB:** Grupo fuerte de carga baja (n=15). **GDCB:** Grupo débil de carga baja (n=22). Para el cálculo del índice de esfuerzo en cada sesión se multiplicó el valor de la mejor repetición con la carga de entrenamiento por la pérdida media correspondiente a las series de entrenamiento de ese día.

La **Figura 17** representa la evolución diaria del salto vertical en los cuatro grupos de entrenamiento. El GDCB experimentó una mejora progresiva a lo largo de todo el ciclo de entrenamiento, por encima de las observadas en el resto de grupos. Por otro lado, tanto el grupo GFCB como el GDCA muestran una evolución positiva muy similar a medida que avanza el ciclo de entrenamiento, aunque la progresión del GFCB parece ser más estable que la del GDCA, en la que se observa una pequeña disminución en las sesiones centrales con respecto al GFCB, aunque la progresión de ambos grupos en la segunda mitad del ciclo parece seguir una evolución muy pareja. Sin embargo, el GFCA muestra una evolución diferente al resto de grupos, ya que hasta la segunda mitad del ciclo de entrenamiento no consigue superar los valores observados en el pre-test. A partir de ahí el salto permaneció prácticamente constante, aunque en la última sesión descendió hasta unos valores inferiores a los iniciales. Sin embargo, mostró un aumento en el post-test.

En cuanto a la evolución de 1RM (**Figura 17b**), la tendencia que se observó en los cuatro grupos de entrenamiento fue una mejora progresiva a medida que avanzó el ciclo de entrenamiento. El GFCB experimentó un aumento más marcado en las primeras sesiones en comparación con los otros tres grupos, que tuvieron una evolución progresiva más similar. Sin embargo, se observó una disminución de la fuerza dinámica máxima en el GFCB en la segunda parte del ciclo que continuó hasta el final con una progresión similar a la del GFCA y a la del GDCB. Mientras tanto, el GDCA experimentó un aumento progresivo más marcado que el resto de grupos en esta segunda mitad, acabando con un aumento más marcado que el resto de grupos con respecto al valor inicial del 100%.

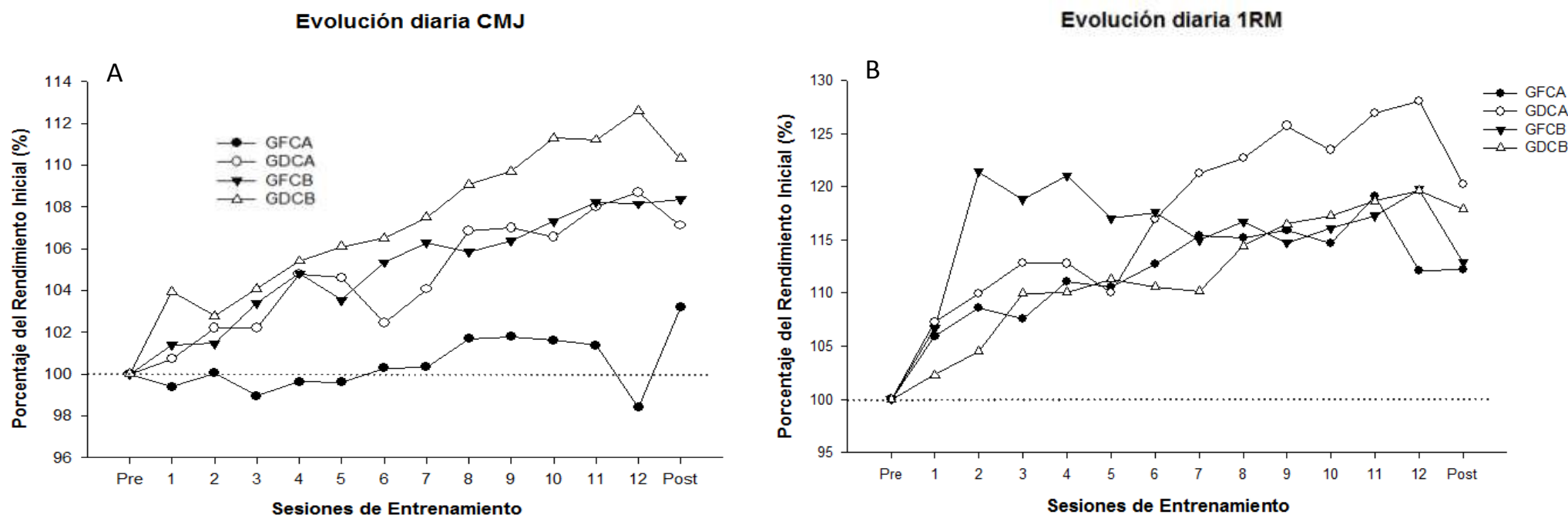


Figura 17. Evolución diaria del CMJ (A) y de 1RM (B) para los cuatro grupos experimentales a lo largo del ciclo de entrenamiento. **GFCB:** Grupo fuerte de carga alta (n=24). **GDCA:** Grupo débil de carga alta (n=13). **GFCB:** Grupo fuerte de carga baja (n=15). **GDCB:** Grupo débil de carga baja (n=22). La **figura Xa** representa la evolución diaria del salto vertical medido antes de cada sesión de entrenamiento para los cuatro grupos de entrenamiento. El valor del salto inicial (pre) fue considerado como 100%, a partir de ahí se muestra su evolución en los cuatro grupos. La **figura Xb** representa el valor estimado de 1RM para cada día de entrenamiento. El valor de 1RM del test inicial fue considerado como 100%, a partir de ahí se muestra la evolución diaria que ha seguido esta variable en los cuatro grupos de entrenamiento.

Los principales resultados obtenidos pre-post entrenamiento sobre las variables relacionadas con el rendimiento se muestran en las **Tablas 17 y 18**, así como en las **Figuras 18 y 19**

Cambios Intra-grupo (GFCA, GDCA, GFCB, GDCB)

Todos los grupos de entrenamiento obtuvieron una mejora significativa en las variables de 1RM, VMP y VMP<1 ($P < 0.001$) en el post-test con respecto al pre-test. El GFCA experimentó una mejora en el CMJ y en la VMP \geq 1 ($P < 0.05$). El GFCB, el GDCA y el GDCB experimentaron una mejora en el CMJ ($P < 0.001$). Sin embargo, sólo el GDCA y el GDCB mostraron un aumento significativo de la VMP \geq 1 ($P < 0.05$ y $P < 0.001$, respectivamente). Adicionalmente, el GDCB obtuvo una mejora estadísticamente significativa en la variable T10-20 ($P < 0.01$).

Las inferencias basadas en la magnitud del cambio para cada grupo determinaron los siguientes resultados (**Figura 18 y 19**):

El GFCA obtuvo un *más que probable* aumento en las variables de 1RM, VMP y VMP<1 (100/0/0), así como una *probablemente* mejora en el CMJ (80/20/0) y en la VMP \geq 1 (87/13/0). Además, se observó un *posiblemente* aumento del tiempo en T10 (1/57/42) y T10-20 (2/73/25), mientras que en la variable T20 el efecto cualitativo fue *probablemente trivial*. El GDCA obtuvo un *más que probable* aumento en las variables de 1RM, VMP y VMP<1 (100/0/0), un *muy probablemente* aumento del CMJ (96/4/0) y un *probablemente* aumento en VMP \geq 1 (93/7/0). En las variables relacionadas con la carrera los efectos fueron *probablemente triviales y no claros*. El GFCB experimentó un *más que probable* efecto positivo sobre la mejora en 1RM, VMP, VMP<1 y el CMJ (100/0/0), mientras que los efectos sobre la variable VMP \geq 1, así como en los relacionadas con la carrera, fueron *no claros*. Por último, el GDCB mostró un *más que probable* aumento en las variables de 1RM, VMP, VMP<1, VMP \geq 1 y el CMJ (100/0/0), mientras que en el T10-20 se observó un efecto *probablemente* positivo (77/23/0). En el T10 y T20 los efectos cualitativos fueron *probablemente triviales*.

Cambios Inter-grupo

No se observó una interacción significativa entre ninguno de los 4 grupos en ninguna de las variables. Sin embargo, al realizar el análisis de los tamaños del efecto en las comparaciones por pares se pueden resaltar como datos más significativos un mejor efecto en el CMJ a favor del GFCB frente al GFCA de 0.57 (0.12; 1.01), un mejor efecto en las variables de VMP, $VMP \geq 1$ y $VMP < 1$ a favor del GDCB frente al GFCA, así como un mejor efecto en el CMJ y T10-20 de 0.42 (0.19; 0.65) y 0.38 (0.12; 0.64) respectivamente, también a favor del GDCB frente al GFCA. Por último, también se observó un mejor efecto en las variables de VMP y $VMP \geq 1$ a favor del GDCB frente al GFCB, así como un mejor efecto a favor del GDCB frente al GDCA en el T10-20 de 0.30 (0.05; 0.54).

Tabla 17. Resultados pre-post entrenamiento en los ejercicios de sentadilla completa, salto vertical y carrera de 20 m en cada uno de los 4 grupos de entrenamiento.

| | GFCA | | GDCA | | GFCB | | GDCB | |
|------------------------------------|--------------|-----------------|-------------|----------------|--------------|-----------------|-------------|----------------|
| | Pre | Post | Pre | Post | Pre | Post | Pre | Post |
| 1RM (kg) | 103.5 ± 13.8 | 116.1 ± 17.5*** | 80.5 ± 12.6 | 96.0 ± 11.1*** | 100.6 ± 11.3 | 113.6 ± 16.7*** | 76.0 ± 11.1 | 89.0 ± 12.7*** |
| VMP (m·s⁻¹) | 1.00 ± 0.11 | 1.09 ± 0.13*** | 0.92 ± 0.08 | 1.05 ± 0.06*** | 1.03 ± 0.08 | 1.11 ± 0.07*** | 0.92 ± 0.06 | 1.07 ± 0.09*** |
| VMP≥1 (m·s⁻¹) | 1.33 ± 0.09 | 1.37 ± 0.12* | 1.28 ± 0.11 | 1.35 ± 0.10* | 1.38 ± 0.08 | 1.39 ± 0.07 | 1.24 ± 0.09 | 1.33 ± 0.13*** |
| VMP<1 (m·s⁻¹) | 0.74 ± 0.09 | 0.86 ± 0.12*** | 0.72 ± 0.05 | 0.88 ± 0.08*** | 0.75 ± 0.08 | 0.88 ± 0.09*** | 0.69 ± 0.04 | 0.87 ± 0.11*** |
| CMJ (cm) | 38.5 ± 3.3 | 39.6 ± 3.2* | 32.6 ± 5.2 | 34.8 ± 5.7*** | 36.3 ± 2.3 | 39.4 ± 4.0*** | 32.3 ± 5.0 | 35.6 ± 5.8*** |
| T10 (s) | 1.75 ± 0.08 | 1.77 ± 0.08 | 1.80 ± 0.10 | 1.81 ± 0.08 | 1.77 ± 0.04 | 1.77 ± 0.04 | 1.82 ± 0.10 | 1.82 ± 0.10 |
| T10-20 (s) | 1.26 ± 0.05 | 1.26 ± 0.04 | 1.33 ± 0.09 | 1.33 ± 0.09 | 1.27 ± 0.03 | 1.26 ± 0.04 | 1.33 ± 0.07 | 1.31 ± 0.06** |
| T20 (s) | 3.03 ± 0.11 | 3.04 ± 0.11 | 3.14 ± 0.18 | 3.15 ± 0.16 | 3.04 ± 0.07 | 3.03 ± 0.06 | 3.16 ± 0.15 | 3.14 ± 0.16 |

Los datos son expresados como media ± desviación típica. IC 90%: Intervalo de Confianza al 90%. **GFCA:** Grupo fuerte de carga alta (n=24). **GDCA:** Grupo débil de carga alta (n=13). **GFCB:** Grupo fuerte de carga baja (n=15). **GDCB:** Grupo débil de carga baja (n=22). **1RM:** Una repetición máxima. **VMP:** Velocidad media alcanzada con las cargas absolutas comunes en el Test 1 y en el Test 2 en el test de cargas progresivas. **VMP≥1:** Velocidad media con las cargas absolutas que se desplazaron a una velocidad igual o superior a 1 m·s⁻¹ durante el Test 1. **VMP<1:** Velocidad media con las cargas absolutas que se desplazaron a menos de 1 m·s⁻¹ durante el Test 1. **CMJ:** Altura en el salto con contramovimiento. **T10:** Tiempo en recorrer a sprint 10 m. **T10-20:** Tiempo en recorrer a sprint el intervalo de 10 – 20 m. **T20:** Tiempo en recorrer a sprint 20 m. Diferencias significativas intra-grupo: * P ≤ 0.05; ** P ≤ 0.01; *** P ≤ 0.001.

Tabla 18. Tamaños del efecto entre-grupos en los ejercicios de sentadilla completa, salto vertical y carrera de 20 m.

| | Diferencias (Cohen) Estandarizadas (IC 90%) | | | | | |
|---|---|---------------------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| | GFCA vs. GDCA | GFCA vs. GFCB | GFCA vs. GDCB | GFCB vs. GDCA | GFCB vs. GDCB | GDCA vs. GDCB |
| 1RM (kg) | 0.16 (-0.08; 0.41) | 0.03 (-0.33; 0.39) | 0.02 (-0.21; 0.25) | 0.15 (-0.17; 0.47) | 0.00 (-0.30; 0.31) | -0.20 (-0.54; 0.15) |
| VMP ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) | 0.39 (-0.15; 0.94) | -0.05 (-0.44; 0.34) | 0.50 (0.05; 0.95) | 0.54 (-0.12; 1.21) | 0.64 (0.12; 1.16) | 0.12 (-0.70; 0.94) |
| VMP ≥ 1 ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) | 0.29 (-0.25; 0.83) | -0.28 (-0.72; 0.16) | 0.51 (0.06; 0.96) | 0.59 (0.00; 1.18) | 0.76 (0.31; 1.22) | 0.24 (-0.34; 0.83) |
| VMP < 1 ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) | 0.44 (-0.18; 1.07) | 0.09 (-0.36; 0.54) | 0.55 (0.05; 1.05) | 0.41 (-0.33; 1.16) | 0.51 (-0.05; 1.06) | 0.14 (-0.64; 0.93) |
| CMJ (cm) | 0.23 (-0.04; 0.50) | 0.57 (0.12; 1.01) | 0.42 (0.19; 0.65) | -0.16 (-0.49; 0.17) | 0.05 (-0.25; 0.35) | 0.19 (-0.06; 0.43) |
| T10 (s) | 0.14 (-0.32; 0.60) | 0.31 (-0.09; 0.70) | 0.13 (-0.15; 0.42) | -0.13 (-0.65; 0.39) | -0.10 (-0.37; 0.17) | 0.01 (-0.38; 0.39) |
| T10-20 (s) | 0.03 (-0.21; 0.26) | 0.17 (-0.23; 0.58) | 0.38 (0.12; 0.64) | -0.07 (-0.31; 0.17) | 0.27 (-0.02; 0.56) | 0.30 (0.05; 0.54) |
| T20 (s) | 0.00 (-0.27; 0.26) | 0.18 (-0.17; 0.52) | 0.19 (-0.03; 0.40) | -0.13 (-0.43; 0.17) | 0.07 (-0.19; 0.33) | 0.17 (-0.07; 0.42) |

Los datos son expresados como valor del tamaño del efecto e intervalo de confianza con límites superior e inferior (IC 90%). Los valores positivos de los tamaños del efecto indican un efecto favorable al segundo grupo de cada par. Los valores negativos indican un efecto favorable al primer grupo de cada par. **GFCA:** Grupo fuerte de carga alta (n=24). **GDCA:** Grupo débil de carga alta (n=13). **GFCB:** Grupo fuerte de carga baja (n=15). **GDCB:** Grupo débil de carga baja (n=22). **1RM:** Una repetición máxima. **VMP:** Velocidad media alcanzada con las cargas absolutas comunes en el Test 1 y en el Test 2 en el test de cargas progresivas. **VMP ≥ 1 :** Velocidad media con las cargas absolutas que se desplazaron a una velocidad igual o superior a $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ durante el Test 1. **VMP < 1 :** Velocidad media con las cargas absolutas que se desplazaron a menos de $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ durante el Test 1. **CMJ:** Altura en el salto con contramovimiento. **T10:** Tiempo en recorrer a sprint 10 m. **T10-20:** Tiempo en recorrer a sprint el intervalo de 10 – 20 m. **T20:** Tiempo en recorrer a sprint 20 m.

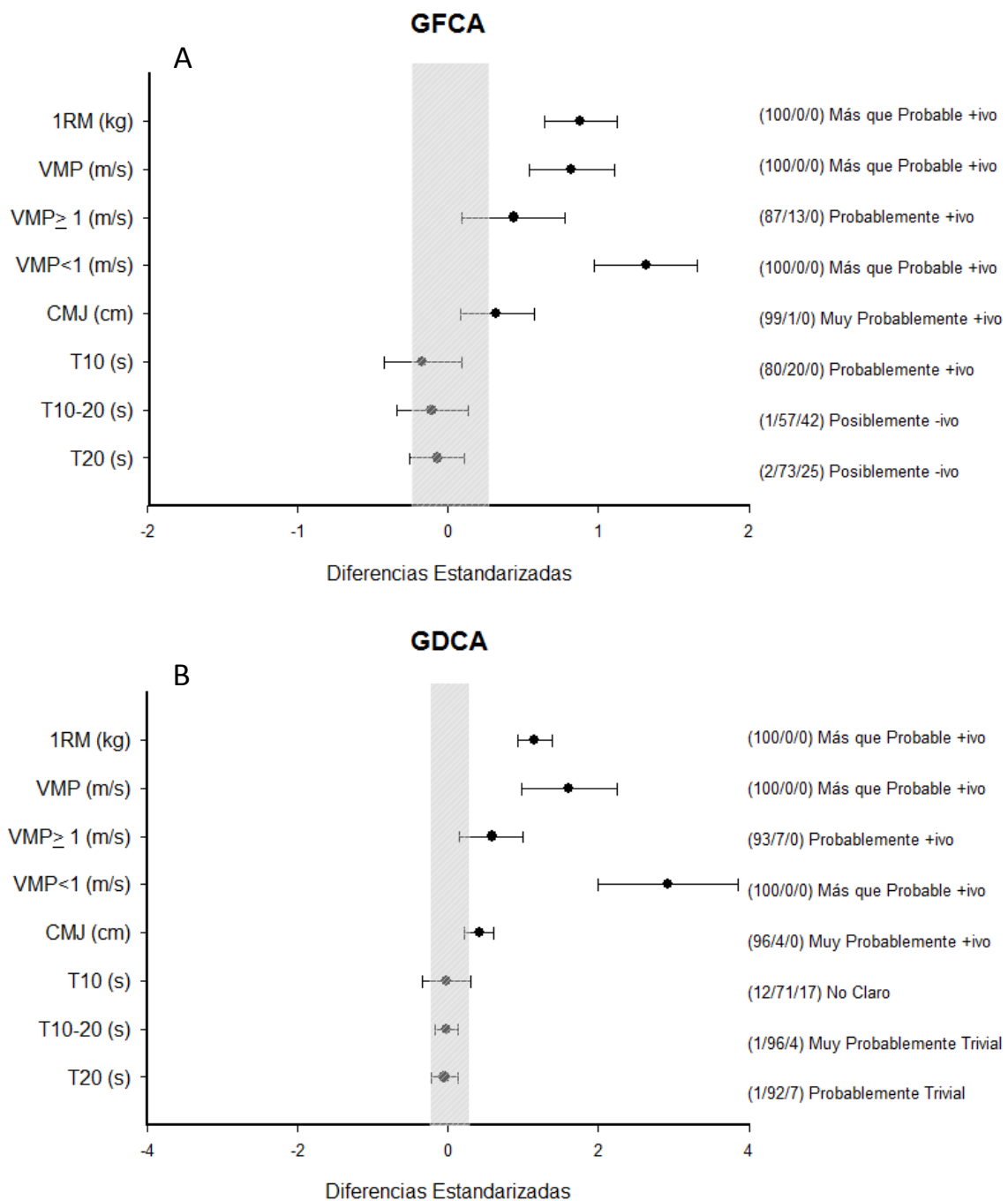


Figura 18. Tamaños del efecto intra-grupo pre-post entrenamiento en los ejercicios de sentadilla completa, salto vertical y carrera de 20 m. **GFCA:** Grupo fuerte de cargas altas (n = 24) (A); **GDCA:** Grupo débil de cargas altas (n = 13) (B).

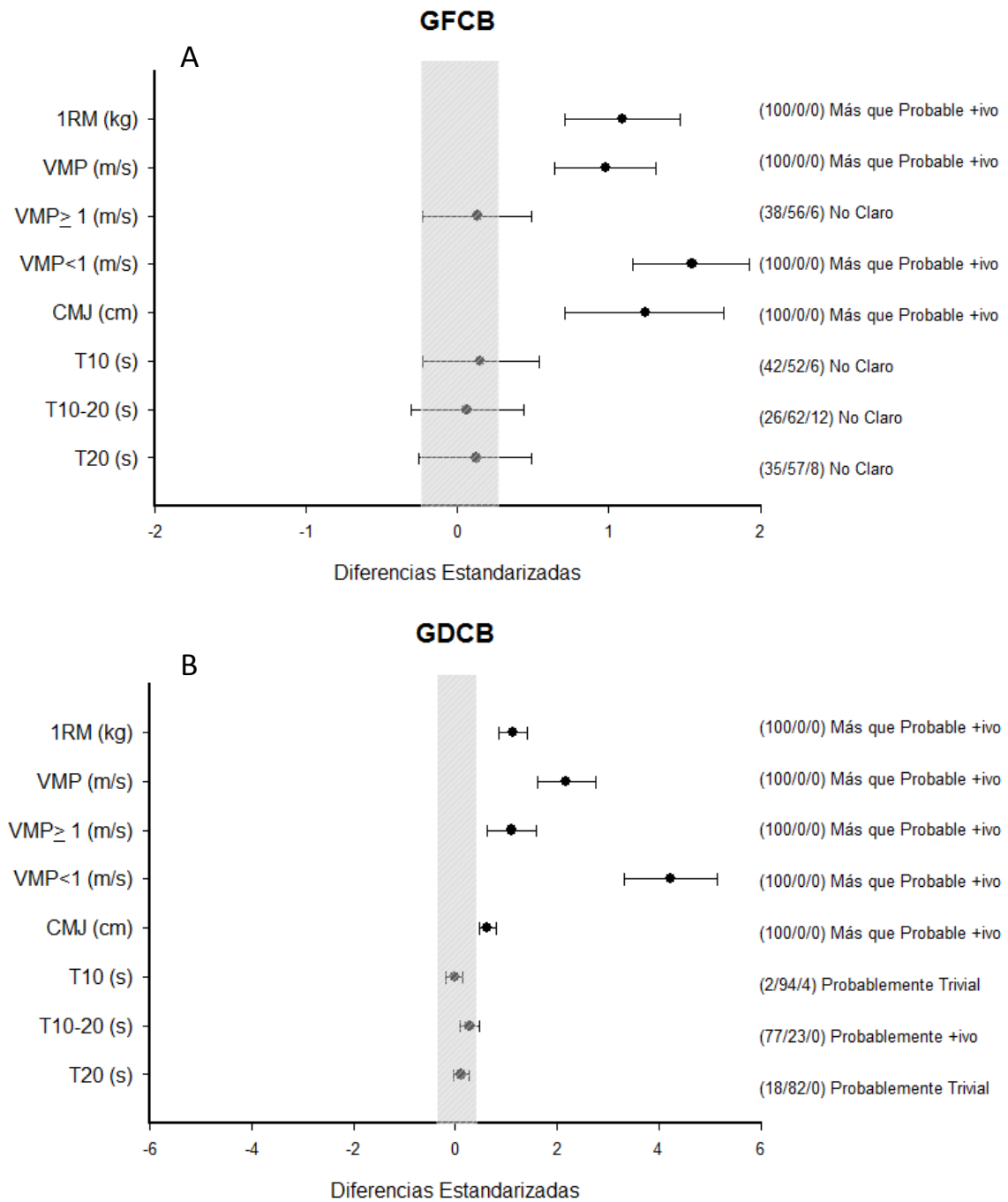


Figura 19. Tamaños del efecto intra-grupo pre-post entrenamiento en los ejercicios de sentadilla completa, salto vertical y carrera de 20 m. **GFCB:** Grupo fuerte de cargas bajas (A); **GDCB:** Grupo débil de cargas bajas (B).

En las **Tablas 19 y 20** se muestra una síntesis de los resultados de los estudios 1 y 2 analizando a todos los sujetos juntos con el objetivo de conocer si hubo diferencias significativas en los efectos producidos por el entrenamiento de fuerza atendiendo únicamente al factor *carga* sin tener en cuenta el nivel de rendimiento inicial (**Tabla 19**) y, por otro lado, una síntesis de efectos producidos por el entrenamiento de fuerza atendiendo únicamente al factor *nivel de rendimiento inicial* y sin tener en cuenta el factor carga (**Tabla 20**).

Grupo Carga Alta vs. Grupo Carga Baja

Cambios Intra-grupo

Tanto la carga alta como la carga baja experimentaron una mejora en 1RM, VMP, VMP<1 y del CMJ ($P < 0.001$) independientemente del nivel de rendimiento inicial. Adicionalmente, se observó un aumento de VMP \geq 1 tanto en el grupo de carga alta ($P < 0.01$) como en el de carga baja ($P < 0.001$). Además, en el tiempo en recorrer el parcial de 10-20 metros, el grupo de carga baja obtuvo una mejora estadísticamente significativa ($P < 0.05$), no observándose este cambio en el grupo de carga alta. En el resto de variables no hubo diferencias entre el pre-test y el post-test.

Cambios Inter-grupo

Se observó una interacción significativa *tiempo x carga* en la variable CMJ ($P < 0.05$) a favor del grupo que realizó el entrenamiento de carga baja. Adicionalmente, se observó una tendencia hacia la interacción *tiempo x carga* en la variable T10-20 ($P = 0.06$) a favor del grupo de carga baja, con un tamaño del efecto intergrupo de 0.26 (0.07; 0.44) a favor del grupo de carga baja. Las inferencias basadas en la magnitud del cambio determinaron un *posiblemente* mejor efecto en la variable VMP<1 a favor del grupo de carga baja, así como un *probablemente* efecto superior en el CMJ a favor de la carga baja (87/13/0). En cuanto a las variables relacionadas con la capacidad de aceleración, el grupo de carga baja experimentó un *posiblemente* mejor efecto en T10 (33/66/1), T10-20 (69/31/0) y en T20 (38/62/0) en comparación con el grupo de carga alta. En la variable 1RM los efectos fueron *probablemente triviales*, mientras que en la VMP y VMP \geq 1 fueron *no claros*.

Grupo Fuerte vs. Grupo Débil

Cambios Intra-grupo

Tanto el grupo fuerte como el grupo débil experimentaron una mejora estadísticamente significativa en las variables de 1RM, VMP, VMP<1 y el CMJ ($P < 0.001$), mientras que en la VMP \geq 1 la mejora observada sólo se produjo en el grupo débil ($P < 0.001$). En el resto de variables no se observaron cambios significativos con respecto al pre-test en ninguno de los dos grupos.

Cambios Inter-grupo

Se observaron cambios significativos entre grupos en las variables de VMP y VMP <1 ($P < 0.05$), así como en la variable VMP \geq 1 ($P < 0.01$) a favor del grupo débil, independientemente de la carga utilizada. Las inferencias basadas en la magnitud del cambio determinaron un *probablemente* mejor efecto para este grupo en las variables mencionadas, además de un *posiblemente* mejor efecto para el grupo débil en las variables de CMJ [TE: 0.21 (0.01; 0.40); (53/47/0)] y T10-20 [TE: 0.20 (0.01; 0.39); (49/51/0)]. En el resto de variables los efectos fueron probablemente triviales.

Tabla 19. Síntesis de los efectos producidos por la carga de entrenamiento sobre la fuerza en los ejercicios de sentadilla completa, salto vertical y carrera de 20 m sin tener el nivel de rendimiento inicial.

| | GCA | | GCB | | Cambios observados para GCA vs. GCB | |
|----------------------------|-------------|-----------------|-------------|----------------|--|---|
| | Pre | Post | Pre | Post | Diferencias (Cohen) Estandarizadas (IC 90%) | Probabilidad de un mejor efecto para GCB/similar/GCA |
| 1RM (kg) | 95.7 ± 17.0 | 109.4 ± 18.2*** | 85.9 ± 16.5 | 99.0 ± 18.8*** | -0.03 (-0.22; 0.16) | 2/91/7 Probablemente Trivial |
| VMP (m·s ⁻¹) | 0.97 ± 0.10 | 1.08 ± 0.11*** | 0.97 ± 0.09 | 1.09 ± 0.09*** | 0.15 (-0.22; 0.52) | 41/53/6 No Claro |
| VMP≥1 (m·s ⁻¹) | 1.31 ± 0.10 | 1.36 ± 0.11** | 1.29 ± 0.11 | 1.35 ± 0.11*** | 0.12 (-0.24; 0.48) | 36/57/7 No Claro |
| VMP<1 (m·s ⁻¹) | 0.73 ± 0.08 | 0.87 ± 0.11*** | 0.71 ± 0.06 | 0.87 ± 0.10*** | 0.24 (-0.17; 0.65) | 56/40/4 Posiblemente |
| CMJ (cm) | 36.4 ± 5.0 | 37.9 ± 4.8*** | 33.9 ± 4.6 | 37.1 ± 5.4***† | 0.33 (0.14; 0.52) | 87/13/0 Probablemente |
| T10 (s) | 1.77 ± 0.09 | 1.78 ± 0.08 | 1.80 ± 0.08 | 1.80 ± 0.09 | 0.13 (-0.11; 0.38) | 33/66/1 Posiblemente |
| T10-20 (s) | 1.28 ± 0.07 | 1.29 ± 0.07 | 1.31 ± 0.06 | 1.29 ± 0.06* | 0.26 (0.07; 0.44) | 69/31/0 Posiblemente |
| T20 (s) | 3.07 ± 0.15 | 3.08 ± 0.14 | 3.11 ± 0.14 | 3.10 ± 0.14 | 0.17 (0.00; 0.34) | 38/62/0 Posiblemente |

Los datos son expresados como media ± desviación típica. IC 90%: Intervalo de Confianza al 90%. **GCA:** Grupo de carga alta (n = 37). **GCB:** Grupo de carga baja (n = 37). **1RM:** Una repetición máxima. **VMP:** Velocidad media alcanzada con las cargas absolutas comunes en el Test 1 y en el Test 2 en el test de cargas progresivas. **VMP≥1:** Velocidad media con las cargas absolutas que se desplazaron a una velocidad igual o superior a 1 m·s⁻¹ durante el Test 1. **VMP<1:** Velocidad media con las cargas absolutas que se desplazaron a menos de 1 m·s⁻¹ durante el Test 1. **CMJ:** Altura en el salto con contramovimiento. **T10:** Tiempo en recorrer a sprint 10 m. **T10-20:** Tiempo en recorrer a sprint el intervalo de 10 – 20 m. **T20:** Tiempo en recorrer a sprint 20 m. Diferencias significativas intra-grupo: * P ≤ 0.05; ** P ≤ 0.01; *** P ≤ 0.001. Interacción significativa *tiempo x carga*: † P ≤ 0.05

Tabla 20. Síntesis de los efectos producidos en el grupo fuerte y en el débil sobre la fuerza en los ejercicios de sentadilla completa, salto vertical y carrera de 20 m sin tener en cuenta la carga utilizada.

| | GF | | GD | | Cambios observados para GF vs. GD | |
|----------------------------|--------------|-----------------|-------------|------------------|--|---|
| | Pre | Post | Pre | Post | Diferencias (Cohen) Estandarizadas (IC 90%) | Probabilidad de un mejor efecto para GD/similar/GF |
| 1RM (kg) | 100.8 ± 11.2 | 113.6 ± 16.0*** | 77.6 ± 11.7 | 91.5 ± 12.5*** | 0.06 (-0.13; 0.26) | 13/85/1 Probablemente Trivial |
| VMP (m·s ⁻¹) | 1.01 ± 0.10 | 1.10 ± 0.11*** | 0.92 ± 0.07 | 1.06 ± 0.08***† | 0.52 (0.16; 0.89) | 93/7/0 Probablemente |
| VMP≥1 (m·s ⁻¹) | 1.35 ± 0.09 | 1.38 ± 0.10 | 1.25 ± 0.10 | 1.34 ± 0.12***†† | 0.55 (0.20; 0.90) | 95/5/0 Probablemente |
| VMP<1 (m·s ⁻¹) | 0.74 ± 0.09 | 0.87 ± 0.11*** | 0.70 ± 0.05 | 0.87 ± 0.10***† | 0.51 (0.10; 0.92) | 90/10/0 Probablemente |
| CMJ (cm) | 37.7 ± 3.2 | 39.5 ± 3.5*** | 32.4 ± 5.0 | 35.3 ± 5.7*** | 0.21 (0.01; 0.40) | 53/47/0 Posiblemente |
| T10 (s) | 1.76 ± 0.07 | 1.77 ± 0.06 | 1.81 ± 0.10 | 1.82 ± 0.09 | 0.06 (-0.19; 0.31) | 17/78/5 Probablemente Trivial |
| T10-20 (s) | 1.26 ± 0.04 | 1.26 ± 0.04 | 1.33 ± 0.07 | 1.32 ± 0.07 | 0.20 (0.01; 0.39) | 49/51/0 Posiblemente |
| T20 (s) | 3.03 ± 0.10 | 3.03 ± 0.10 | 3.15 ± 0.16 | 3.14 ± 0.16 | 0.08 (-0.10; 0.25) | 12/87/1 Probablemente Trivial |

Los datos son expresados como media ± desviación típica. IC 90%: Intervalo de Confianza al 90%. **GF**: Grupo fuerte (n = 39). **GD**: Grupo débil (n = 35). **1RM**: Una repetición máxima. **VMP**: Velocidad media alcanzada con las cargas absolutas comunes en el Test 1 y en el Test 2 en el test de cargas progresivas. **VMP≥1**: Velocidad media con las cargas absolutas que se desplazaron a una velocidad igual o superior a 1 m·s⁻¹ durante el Test 1. **VMP<1**: Velocidad media con las cargas absolutas que se desplazaron a menos de 1 m·s⁻¹ durante el Test 1. **CMJ**: Altura en el salto con contramovimiento. **T10**: Tiempo en recorrer a sprint 10 m. **T10-20**: Tiempo en recorrer a sprint el intervalo de 10 – 20 m. **T20**: Tiempo en recorrer a sprint 20 m. Diferencias significativas intra-grupo: * P ≤ 0.05; ** P ≤ 0.01; *** P ≤ 0.001. Interacción significativa *tiempo x rendimiento*: †P ≤ 0.05; ††P ≤ 0.01

6.4 Discusión

El principal objetivo de este estudio fue analizar la interacción entre los factores *carga* \times *nivel de rendimiento*. El factor *carga* estaba compuesto de dos niveles (carga alta y carga baja) y el factor *rendimiento* de otros dos niveles (sujetos “fuertes” y sujetos “débiles”), lo que dio lugar a la creación de cuatro grupos de sujetos para el análisis: dos de ellos formados por los sujetos “fuertes”, de los cuales uno recibe un entrenamiento con cargas altas y otro con cargas bajas; y los otros dos formados por los sujetos “débiles” que, igualmente, uno de ellos recibe un entrenamiento con las cargas altas y el otro con las bajas. Este análisis se realizó tomando los resultados obtenidos en los estudios 1 y 2, en los que los sujetos realizaron los mismos entrenamientos, tanto con cargas altas como con cargas bajas, y un mismo volumen (**Tabla 3, Figura 4, Figura 10**). Una vez analizada la interacción, estudiaremos los *efectos principales*.

El análisis de la interacción *carga* \times *rendimiento* no presentó interacción significativa. La interpretación de este resultado nos indica que dos rangos de intensidades relativas muy diferentes (70 – 90% de 1RM vs. 40 – 60% de 1RM) no producen un efecto diferenciado en función de distintos niveles de rendimiento iniciales: grupo “fuerte”, con 1RM relativa al peso corporal de 135.5%, y grupo “débil”, de 105.1%. Esta no interacción se refiere a las variables dependientes comunes a los estudios 1 y 2: 1RM, VMP, $VMP \geq 1$, $VMP < 1$, CMJ, T10, T10-20 y T20. No hemos encontrado ningún estudio en el que se analice este tipo de interacción entre distintos niveles de carga y distintos niveles de rendimiento físico inicial.

Aunque no hemos observado interacción significativa *carga* \times *rendimiento*, el análisis de la evolución de dos de las variables citadas, la RM estimada y de la capacidad de salto (CMJ), nos aporta información relevante sobre la tendencia observada como efecto del entrenamiento sobre estas dos variables en los cuatro grupos.

En la evolución de la RM (**Figura 17b**) se puede observar que, aun sin encontrar diferencias significativas entre los distintos grupos, las dos cargas (alta y baja) aplicadas al grupo “débil” tienden a obtener un mayor efecto en términos relativos al obtenido por el grupo “fuerte” (GDCA: 20.3% y GDCB: 17.9% vs. GFCA: 12.3% y GFCB: 12.9%). Esta tendencia podría estar explicada por el hecho de que los sujetos “débiles” presentan

un margen de desarrollo de su potencial de fuerza mayor que los sujetos de mayor rendimiento. Además, es relevante que la carga alta, que tiende a ofrecer los mejores resultados en el grupo “débil”, es la que peor efecto ofrece para el grupo fuerte. Este resultado sería contrario al principio de progresión de las cargas, que indicaría que a medida que aumenta el rendimiento es necesario aplicar intensidades mayores. Por tanto, dado que el volumen ha sido el mismo para todos los grupos, es probable que los sujetos con mayor rendimiento que han entrenado con carga alta hayan alcanzado un grado de fatiga excesivo, que contrarreste la probable necesidad y beneficio de entrenar con cargas más elevadas.

En relación con el CMJ, la primera observación reseñable es que las dos cargas bajas, tanto para el “fuerte” como para el “débil”, son las que tienden a ofrecer mayor efecto (GFCB: 8.3% y GDCB: 10.3% vs. GFCA: 3.2% y GDCA: 7.1%). Como se ha indicado en los análisis previos, esta mayor mejora puede venir determinada por la mayor velocidad media de ejecución conseguida con las cargas bajas y el menor grado de fatiga ocasionado en la serie. Adicionalmente, se puede observar que la evolución del efecto del entrenamiento sobre la RM (**Figura 17b**) no es la misma que en el CMJ (**Figura 17a**). En este caso, se observa un efecto claramente superior para la carga baja aplicada en el grupo “débil” sobre el CMJ que en la evolución de la RM, que ocupó el segundo lugar y con efectos similares a los otros grupos. Sin embargo, el efecto de la carga alta sobre el grupo débil, que es el que experimentó la mayor mejora en la RM (20.3%), en el CMJ ocupa el tercer lugar en progresión (7.1%). Estos resultados sugieren que los factores determinantes del rendimiento, y las cargas que lo produce, son diferentes para la RM que para el CMJ. Como aplicación práctica de estos resultados, se podría sugerir que si se pretende mejorar la capacidad de salto a lo largo de un ciclo de entrenamiento, sería aconsejable no utilizar intensidades relativas elevadas, que obligarían a realizar los movimientos a una velocidad absoluta baja, ni alcanzar altos valores de fatiga.

A continuación pasamos al análisis de los *efectos principales*. En primer lugar analizaremos el efecto del factor *carga* y a continuación el del factor *nivel de rendimiento inicial*.

Efecto del factor carga sobre la RM, la VMP, la $VMP < 1$ y la $VMP \geq 1$. En los tres análisis (estudios 1, 2 y 3), se observaron diferencias significativas intra-grupos ante los dos niveles de carga en estas variables. Por tanto, en el estudio 3, con mayor número de sujetos, se ratificó lo que se había observado en los dos primeros. En cuanto a las diferencias entre grupos, los resultados son los mismos en los tres análisis para tres variables (RM, VMP y $VMP \geq 1$), no observándose diferencias entre los grupos ni tamaños del efecto suficientemente altos como para que no apareciese el valor cero dentro del intervalo de confianza del 90%. Sin embargo, la tendencia general a que los resultados hayan sido ligeramente superiores con el entrenamiento de cargas bajas llega a ser significativa en el estudio 2 en la variable $VMP < 1$. La similitud en los resultados de estas cuatro variables es coherente, ya que la VMP de todas las cargas es dependiente del valor de la RM y, en mayor medida, lo son los valores de las velocidades con las cargas más altas ($VMP < 1$). Precisamente, esta mayor relación de la RM con el rendimiento ante las cargas altas podría explicar que en el estudio 2 se haya observado una diferencia significativa entre grupos a favor de la carga baja, ya que la mejora de la RM de este grupo fue superior en términos porcentuales (18.7 vs. 13.6%).

En línea con los resultados mostrados por Mora-Custodio et al. (2016), estos datos vienen a ratificar que, en sujetos de las características de los participantes en este estudio, rangos de intensidades muy diferentes, como los utilizados en nuestro caso, producen efectos semejantes. Los efectos sobre $VMP \geq 1$ fueron semejantes a las demás variables excepto en el estudio 1, en el que no se observaron diferencias intra-grupos con ninguna de las dos cargas. Esta tendencia puede venir justificada por el hecho de que las mejoras a altas velocidades son menos dependientes del valor de la RM y más de la velocidad absoluta de acortamiento muscular (velocidad máxima sin carga) (Edman, 1979, 1992; Verskoshansky, 1986, 1996).

Efecto del factor carga sobre el CMJ. En esta variable se observaron diferencias significativas intra-grupos en los tres estudios. Además, en los estudios 2 y 3 el entrenamiento con cargas bajas ofreció resultados significativamente superiores al de cargas altas, y un tamaño del efecto de 0.43 (estudio 2) y de 0.33 (estudio 3), sin la aparición del cero en el intervalo de confianza en ninguno de los casos. Estos resultados vienen a ratificar que, ante un mismo volumen, el entrenamiento con cargas ligeras, en este caso entre el 40 y el 60% de 1RM en el ejercicio de sentadilla completa, el efecto

sobre acciones realizadas a muy alta velocidad, como es el salto vertical sin carga, tiende a ser superior que entrenando con cargas altas (70 – 90% de 1RM).

Una posible explicación para estos resultados podría ser que el grupo de cargas altas realizó un número mayor de repeticiones a baja velocidad (**Figura 4 y Figura 10**) tal y como se ha discutido en los estudios 1 y 2. Este mayor número de repeticiones a baja velocidad realizado por el grupo de cargas altas se debe a dos factores. El primer factor está relacionado con la carga de entrenamiento, ya que las intensidades relativas del 70 al 90% de 1RM necesariamente han de desplazarse a una velocidad absoluta menor que las cargas con las que entrenó el grupo de intensidades bajas (40 – 60% de 1RM). El segundo factor estaría relacionado con la fatiga producida durante el entrenamiento, ya que el grupo de carga alta alcanzó un mayor porcentaje de pérdida de velocidad y un índice de esfuerzo mayor durante el ciclo de entrenamiento que el grupo de carga baja (**Figura 5 y Figura 11**). Esta explicación vendría apoyada por los resultados obtenidos por Pareja-Blanco et al. (2016b), quienes observaron que un entrenamiento ante las mismas intensidades relativas ofreció un efecto significativamente mayor en el CMJ en el grupo que alcanzó un porcentaje de pérdida de velocidad menor en la serie (menor fatiga). Por otra parte, la mayor fatiga observada en el grupo de carga alta podría haber venido acompañada de una mayor transformación de fibras más rápidas (IIx) a más lentas (IIa), como se observó en el estudio citado (Pareja-Blanco et al., 2016), lo cual podría haber contribuido a una menor producción de fuerza en la unidad de tiempo y, por ello, a menor efecto sobre el CMJ.

Efecto del factor carga sobre el sprint. En el tiempo en 10 metros no se observó ninguna diferencia significativa ni tamaño del efecto reseñable en la comparación de ninguna de las cargas en ningún estudio. Por lo tanto, el aumento del número de sujetos en el estudio 3 no varía el efecto sobre este tipo de rendimiento. Aparte de que la carrera no se entrenó, probablemente, la menor fiabilidad de la medida en esta distancia (**Tabla 14**) podría justificar en parte la ausencia de efecto sobre la misma. En la variable T10-20 se observó una tendencia a mejorar con el entrenamiento de la carga baja. En el estudio 2 se observó una mejora intragrupo para la carga baja y un efecto significativamente superior que en la carga alta, y un tamaño del efecto de 0.35 a favor de la carga baja sin el cero en el intervalo de confianza. Igualmente, en el estudio 3 se

sigue observando una mejora intragrupo significativa en la carga baja y un mayor efecto de la carga baja en comparación con la alta próximo a la significatividad ($P = 0.06$) y un tamaño del efecto de 0.26 sin el valor cero en el intervalo de confianza. Entendemos que estos resultados son muy relevantes, pues vienen a confirmar que el entrenamiento exclusivo de la sentadilla completa puede tener un efecto positivo sobre la capacidad de aceleración sin el entrenamiento de dicha capacidad. Además, también es relevante el hecho de que esta mejora se haya producido cuando las cargas son bajas y no se haya alcanzado ninguna mejora intragrupo cuando se han aplicado cargas altas. Dado que los volúmenes de entrenamiento han sido iguales para todos los sujetos, estos resultados ponen de manifiesto la importancia de la velocidad absoluta de ejecución y el grado de fatiga en el entrenamiento, ya que estas variables son las que realmente han actuado como variables independientes en los tres estudios. Este efecto de la velocidad y la fatiga sobre el rendimiento se reafirma por el hecho de que, en la variable T20, la carga alta no sólo no produce un efecto positivo, sino que incluso llega a aumentar el tiempo de manera significativa en esta distancia en el estudio 1, mientras que en el estudio 2 se observó una mejora en el grupo que entrenó con cargas bajas. Las menores diferencias en la variable T20 con respecto a la T10-20 son fácilmente justificables por el hecho de que en la variable T20 está incluido el efecto sobre la variable 10 metros, la cual no experimentó ninguna mejora.

Análisis del efecto del factor nivel de rendimiento inicial

Efecto del factor nivel de rendimiento inicial sobre la RM, la VMP, la $VMP < 1$ y la $VMP \geq 1$. En las comparaciones intra-grupo, los dos grupos obtuvieron una mejora significativa en 1RM, VMP y $VMP < 1$ con respecto al pre-test, pero solo el grupo débil obtuvo también mejora en $VMP \geq 1$ (**Tabla 20**). En cuanto a la comparación entre grupos, no se observaron diferencias significativas en la RM, aunque las mejoras porcentuales fueron claramente superiores en el grupo débil (17.9 vs. 12.7%). Se observó una diferencia a favor del grupo “débil” en las variables de VMP, $VMP < 1$ y $VMP \geq 1$ (**Tabla 20**). Estas diferencias a favor del grupo débil no sólo se manifiestan como consecuencia de la aplicación de cargas altas y bajas conjuntamente, sino que, analizando por separado los efectos ante cargas altas y bajas, los porcentajes de mejora son superiores siempre en el grupo débil. Ante cargas altas y bajas, respectivamente, en

VMP los porcentajes de mejora fueron 15.3 y 15.9% para el grupo débil vs. 9.2 y 8.5% para el grupo fuerte; en la $VMP < 1$ de 22.2 y 26.1% vs. 18.0 y 17.0%; y en la $VMP \geq 1$ de 5.5 y 8.1% vs. 3.0 y 0.7%. Estos resultados indicaron que el grupo débil mejoró su fuerza en mayor medida en comparación con el grupo fuerte ante cualquier velocidad de ejecución (carga alta o carga baja), por lo que reforzaría la hipótesis de que los sujetos con un menor nivel de rendimiento inicial se beneficiarían en mayor medida de la aplicación de cualquier carga de entrenamiento.

Estos resultados podrían explicarse por la diferencia en el nivel de rendimiento inicial entre ambos grupos, pues se ha sugerido que los sujetos con un nivel de rendimiento más bajo, o con una experiencia menor en el entrenamiento de fuerza, obtendrían mejores resultados de la carga de entrenamiento que los sujetos más fuertes o con mayor experiencia debido en parte al aprendizaje de los patrones motores y de la coordinación en el ejercicio realizado (O. M. Rutherford and D. A. Jones, 1986). Por otro lado, se ha sugerido que los sujetos con mayor nivel de rendimiento inicial, o una mayor experiencia en el entrenamiento de fuerza, necesitarían entrenar con cargas más altas ($>80\%$ de 1RM) y un mayor volumen de entrenamiento para mejorar su fuerza a través de un mayor estrés en el sistema neuromuscular (Hakinnen et al., 1985; Rhea et al., 2003; ACSM., 1997). Sin embargo, en nuestro caso, la utilización de las cargas más altas de nuestro estudio (70 – 90% de 1RM) no ha producido mayores mejoras en el rendimiento que las cargas más bajas, como por ejemplo se observa en la repetición máxima, con un 12.3% de mejora con carga alta y un 12.9% con carga baja. Por tanto, en conjunto, los resultados sugieren que, por una parte se cumple el principio de *diminishing return*, que indica que cuanto mayor es el nivel de rendimiento alcanzado, menor es la mejora para un mismo tiempo de entrenamiento aunque la carga aumente de manera progresiva. Pero, por otra parte, los resultados también sugieren que este principio del entrenamiento se cumple aun utilizando cargas bajas, pues la carga alta para el grupo fuerte no ha ofrecido mejores resultados que la baja. Esto significa que, desde el punto de vista práctico, habría que replantearse si a medida que mejora el rendimiento, siempre es necesario aumentar la intensidad relativa de entrenamiento. No obstante, habría que considerar otro factor, que es independiente de la intensidad relativa utilizada, como es la fatiga que se genera en la serie tanto con cargas altas como con cargas bajas. Por tanto, se pone de manifiesto de nuevo que, la velocidad de

ejecución, tanto en términos relativos como en términos absolutos, debería ser un factor a considerar cuando se programa un entrenamiento.

Efecto del factor nivel de rendimiento inicial sobre el CMJ. Los dos grupos mostraron una mejora del salto vertical tras la realización del entrenamiento de fuerza. Sin embargo, el análisis del tamaño del efecto entre grupos mostró una mayor mejora en el grupo débil [TE: 0.21 (0.01; 0.40)] con un *posiblemente* mayor efecto a favor de este grupo (53/47/0). Por lo tanto, aunque ambos grupos de entrenamiento mejoraron su salto con respecto al pre-test, se observa una tendencia a una mayor mejora en el grupo débil en comparación con el grupo fuerte. Los porcentajes de mejora del grupo débil fueron 7.1 y 10.3% ante las cargas altas y bajas, respectivamente, mientras que en el grupo fuerte fueron de 3.2 y 8.3%. Estos porcentajes de cambio vuelven a mostrar que el entrenamiento con carga alta tiende a proporcionar menor rendimiento en ejercicios de alta velocidad tanto en sujetos fuertes como débiles, y especialmente cuando el sujeto es fuerte, con sólo un 3.2% de mejora en el rendimiento.

Los cambios observados en el CMJ en ambos grupos podrían explicarse del mismo modo que los observados en la fuerza, es decir, gracias a una mayor activación neural en ambos grupos, dado que ante el bajo número de repeticiones por serie y el número de sesiones realizado, es poco probable que haya tenido protagonismo la hipertrofia muscular. Además, es probable que también haya influido la similitud en la biomecánica de la sentadilla y el salto vertical. Sin embargo, el posible mejor efecto que obtendría el grupo débil, según mostró el análisis del tamaño del efecto, podría deberse principalmente al propio nivel de rendimiento inicial, ya que el mismo estímulo o carga de entrenamiento provocaría un efecto superior en el grupo débil.

Aunque no hemos encontrado ningún estudio en el que se analice el efecto del entrenamiento de fuerza sobre dos grupos de sujetos de distinto nivel inicial, algunos trabajos como los presentados por Smilios et al. (2006), Lamas et al. (2012) y Mora-Custodio et al. (2016) observaron que en sujetos fuertes o débiles el entrenamiento de carga baja produjo un mayor efecto sobre el salto vertical que el ofrecido por las cargas más altas.

Efecto del factor nivel de rendimiento inicial sobre el sprint. Los resultados observados en este análisis no mostraron cambios significativos en ninguna de las distancias evaluadas en el sprint en ninguno de los dos grupos de entrenamiento. Sin embargo, hemos observado que la carga alta produce un efecto negativo sobre el rendimiento en las tres distancias tanto en el grupo “fuerte” como en el grupo “débil”, mientras que la carga baja produce una disminución del tiempo en 10-20 y en 20 metros en ambos grupos. En esta línea, McBride et al. (2002) encontraron resultados similares a los nuestros al entrenar el ejercicio de salto con carga con el 30 o el 80% de 1RM en sujetos con una experiencia previa en el entrenamiento de fuerza de 2 a 4 años. Se observó una tendencia hacia la mejora en el tiempo en 10 y 20 metros que no llegó a ser significativa en el grupo de carga baja, mientras que el grupo de carga alta aumentó el tiempo en esas mismas distancias. Por tanto, estos resultados indican que la carga baja no sólo tiende a producir mejores efectos sobre acciones de alta velocidad en la ejecución de una sentadilla o un salto, sino que incluso tiende a producir mejores efectos en acciones muy distintas como es la carrera en distancias cortas.

6.5 Conclusiones

- 1.- El análisis de la interacción *carga x rendimiento* no presentó interacción significativa. Por lo tanto, el factor *carga*, con dos niveles de intensidades relativas muy diferentes (70 – 90% de 1RM y 40 – 60% de 1RM) no produjeron un efecto diferenciado en función de dos niveles de rendimiento iniciales (grupo “fuerte” y grupo “débil”) en las variables dependientes: 1RM, VMP, $VMP \geq 1$, $VMP < 1$, CMJ, T10, T10-20 y T20.
- 2.- Tanto las cargas altas como las cargas bajas aplicadas al grupo “débil” ofrecieron mejores resultados en la RM, la VMP, la $VMP < 1$ y la $VMP \geq 1$ en comparación con la aplicación de las mismas cargas en el grupo de sujetos “fuertes”.
- 3.- El salto vertical mejoró más cuando se aplicaron las cargas bajas (40 – 60% de 1RM) a los dos grupos (“fuertes” y “débiles”) que cuando se aplicaron las cargas altas (70 – 90% de 1RM).
- 4.- El entrenamiento de fuerza con cargas bajas produjo una mejora significativa en el tiempo en 10-20 metros en comparación con el grupo de carga alta. Además, el empleo

de las cargas bajas también alcanzó un porcentaje de cambio a favor de la mejora del tiempo en 20 metros, mientras que las cargas altas dieron lugar a un aumento significativo del tiempo en esta distancia. Por tanto, la aplicación de las cargas bajas de entrenamiento ofreció efectos positivos sobre la capacidad de sprint, aun sin haber entrenado la carrera.

6.6 Aplicaciones Prácticas

Como aplicación práctica de estos resultados, se sugiere que si se pretende mejorar la capacidad de salto y acciones de alta velocidad a lo largo de un ciclo de entrenamiento, sería aconsejable no utilizar intensidades relativas elevadas, que obligarían a realizar los movimientos a una velocidad absoluta baja, ni alcanzar altos valores de fatiga en la serie.

Desde un punto de vista práctico, habría que replantearse si a medida que mejora el rendimiento, siempre es necesario aumentar la intensidad relativa de entrenamiento. No obstante, habría que considerar otro factor, que es independiente de la intensidad relativa utilizada, como es la fatiga que se genera en la serie tanto con cargas altas como con cargas bajas. Por tanto, la velocidad de ejecución, tanto en términos relativos como en términos absolutos, debería ser un factor a considerar cuando se programa un entrenamiento.

7. Conclusiones Generales

Como conclusiones generales de la presente tesis doctoral se podría decir que:

- 1.-** El entrenamiento de fuerza con cargas bajas (40 – 60% de 1RM) ofrece similares, e incluso mayores mejoras sobre las variables relacionadas con la fuerza en el ejercicio de sentadilla completa en comparación con el entrenamiento con cargas altas (70 – 90% de 1RM) realizando el mismo número de repeticiones totales en el ciclo de entrenamiento.
- 2.-** La aplicación de un programa de entrenamiento con cargas bajas ofrece mejoras superiores tanto en el salto vertical como en la capacidad de sprint, principalmente en T10-20, T20 y T30 en comparación con el grupo de carga alta, que únicamente ofreció una mejora en el salto vertical, aunque esta fue menor en comparación con la ofrecida por el entrenamiento de carga baja.

3.- La fatiga producida en cada sesión de entrenamiento, expresada a través de la pérdida de velocidad en la serie gracias a la medición directa de esta variable en todas las repeticiones del ciclo, fue significativamente mayor en el grupo de carga alta. Estos resultados unidos a los citados previamente no aconsejarían el empleo de este tipo de cargas para la mejora ni de la fuerza ni del salto o la capacidad de sprint.

4.- Ambos tipos de entrenamiento producen cambios en la respuesta hormonal crónica de la testosterona y el cortisol, así como en el ratio T/C. El entrenamiento de carga baja disminuyó la concentración de testosterona y el ratio T/C, mientras que se observó un descenso de la hormona cortisol. En el grupo de carga alta se produjeron los efectos contrarios. Pese a que un aumento del cortisol y una disminución de la testosterona se asocian con una disminución del rendimiento, los resultados de estos estudios demuestran lo contrario, por lo que los cambios en la respuesta hormonal tras el ciclo de entrenamiento habría que tomarlos con relativa cautela.

8. Futuras líneas de investigación

En futuros estudios se debería seguir analizando el efecto sobre el rendimiento a diferentes velocidades y ejercicios de distintos rangos de intensidades relativas, pero igualando el grado de fatiga generado en cada serie, es decir, con un mismo “índice de esfuerzo”, de tal manera que la verdadera y única variable independiente fuese el rango de intensidades relativas utilizadas. Esta sería la única forma de poder determinar en un futuro cuál es el verdadero efecto de distintas intensidades relativas. De no hacerlo así, siempre estaría actuando como un factor determinante del rendimiento la distinta fatiga que se hubiera generado ante cada intensidad, impidiendo conocer el verdadero efecto de una intensidad frente a otras

Naturalmente, sería necesario que se hicieran estos estudios con sujetos de distintos niveles de rendimiento o experiencia en el entrenamiento de fuerza.

La aplicación de algunos indicadores de los efectos fisiológicos del entrenamiento, como pueden ser los registros de la actividad muscular y los análisis sobre los efectos sobre el tejido muscular a través de muestras de biopsias, contribuirían a explicar por qué se dan determinadas respuestas.

9. Limitaciones de los estudios

Aparte de la ausencia de indicadores fisiológicos que pudieran haber contribuido a explicar los resultados, la principal limitación del estudio es que sólo podemos concluir cuál es el efecto de distintas intensidades ante un mismo volumen de repeticiones, pero no ante una misma fatiga. Esta limitación está en línea con las propuestas que hemos hecho sobre la importancia del control de la velocidad absoluta de ejecución y la fatiga generada (porcentaje de pérdida de velocidad en la serie).

10. Relación de tablas

| Tabla | | Pág. |
|--------------|--|-------------|
| 1 | Características de los grupos experimentales. Media \pm desviación típica (dt). ESTUDIO I | 39 |
| 2 | Coeficiente de correlación intraclase (ICC) y coeficiente de variación (CV) de las variables relacionadas con la capacidad de sprint | 42 |
| 3 | Entrenamiento de Fuerza para ambos grupos de entrenamiento | 46 |
| 4 | Pérdida media de velocidad en cada sesión de entrenamiento | 52 |
| 5 | Resultados pre-post entrenamiento en los ejercicios de sentadilla completa, salto vertical y carrera de 20 m | 57 |
| 6 | Características de los grupos experimentales. Media \pm desviación típica (dt). ESTUDIO II | 72 |
| 7 | Coeficiente de correlación intraclase (CCI) y coeficiente de variación (CV) de las variables relacionadas con la capacidad de sprint | 76 |
| 8 | Entrenamiento de Fuerza para ambos grupos de entrenamiento | 81 |
| 9 | Pérdida media de velocidad en cada sesión de entrenamiento (%) | 87 |
| 10 | Pérdida media de salto vertical tras cada sesión de entrenamiento (%) | 89 |

| | | |
|-----------|--|-----|
| 11 | Resultados pre-post entrenamiento en los ejercicios de sentadilla completa, salto vertical y carrera de 30 m | 94 |
| 12 | Resultados pre-post entrenamiento sobre la respuesta hormonal | 99 |
| 13 | Características de los grupos experimentales. Media \pm desviación típica (dt). ESTUDIO III | 122 |
| 14 | Coeficiente de correlación intraclase (ICC) y coeficiente de variación (CV) de las variables de salto y la capacidad de sprint. | 126 |
| 15 | Pérdida media de velocidad en cada sesión de entrenamiento | 129 |
| 16 | Índice de esfuerzo en cada sesión de entrenamiento | 130 |
| 17 | Resultados pre-post entrenamiento en los ejercicios de sentadilla completa, salto vertical y carrera de 20 m en cada uno de los 4 grupos de entrenamiento. | 135 |
| 18 | Tamaños del efecto entre-grupos en los ejercicios de sentadilla completa, salto vertical y carrera de 20 m. | 136 |
| 19 | Síntesis de los efectos producidos por la carga de entrenamiento sobre la fuerza en los ejercicios de sentadilla completa, salto vertical y carrera de 20 m sin tener el nivel de rendimiento inicial. | 141 |
| 20 | Síntesis de los efectos producidos en el grupo fuerte y en el débil sobre la fuerza en los ejercicios de sentadilla completa, salto vertical y carrera de 20 m sin tener en cuenta la carga utilizada | 142 |

11. Relación de figuras

| Figura | | Pág. |
|---------------|---|-------------|
| 1 | Test de capacidad de sprint | 42 |
| 2 | Test de salto con contramovimiento (CMJ) | 43 |
| 3 | Test de cargas progresivas en el ejercicio de sentadilla completa | 45 |
| 4 | Número de repeticiones realizado por cada grupo en distintas zonas de velocidad (intensidad relativa) durante el ciclo de entrenamiento. ESTUDIO I | 51 |
| 5 | Evolución del índice de esfuerzo a lo largo del ciclo de entrenamiento | 53 |
| 6 | Evolución diaria del CMJ (A) y de 1RM (B) para el GCA y el GCB a lo largo del ciclo de entrenamiento | 55 |
| 7 | Tamaños del efecto intra-grupo en los ejercicios de sentadilla completa, salto vertical y carrera de 20 m | 58 |
| 8 | Test de salto con contramovimiento con cargas externas (CMJc) | 78 |
| 9 | Extracción de las muestras de sangre | 80 |
| 10 | Número de repeticiones realizado por cada grupo en distintas zonas de velocidad (intensidad relativa) durante el ciclo de entrenamiento. ESTUDIO II | 86 |

| | | |
|-----------|---|-----|
| 11 | Evolución del índice de esfuerzo a lo largo del ciclo de entrenamiento | 88 |
| 12 | Evolución diaria del CMJ (A) y de 1RM (B) para GCA y GCB a lo largo del ciclo de entrenamiento | 91 |
| 13 | Tamaños del efecto intra-grupo pre-post entrenamiento en las variables relacionadas con la fuerza en el ejercicio de sentadilla completa. Grupo de carga alta (GCA) | 95 |
| 14 | Tamaños del efecto intra-grupo pre-post entrenamiento en las variables relacionadas con la fuerza en el ejercicio de sentadilla completa. Grupo de carga baja (GCB) | 96 |
| 15 | Tamaños del efecto intra-grupo pre-post entrenamiento sobre la respuesta hormonal crónica | 100 |
| 16 | Número de repeticiones realizado con la carga máxima (A) y número de repeticiones totales (B) por cada grupo en distintas zonas de velocidad (intensidad relativa) durante el ciclo de entrenamiento. ESTUDIO III | 128 |
| 17 | Evolución diaria del CMJ (A) y de 1RM (B) para los cuatro grupos experimentales a lo largo del ciclo de entrenamiento | 132 |
| 18 | Tamaños del efecto intra-grupo pre-post entrenamiento en los ejercicios de sentadilla completa, salto vertical y carrera de 20 m en los grupos de carga alta (GFCA y GDCA) | 137 |

| | | |
|-----------|--|-----|
| 19 | Tamaños del efecto intra-grupo pre-post entrenamiento en los ejercicios de sentadilla completa, salto vertical y carrera de 20 m en los grupos de carga baja (GFCB y GDCB) | 138 |
|-----------|--|-----|

12. Glosario de acrónimos

1RM: Una repetición máxima

1RMPC: Porcentaje que supone el valor de la RM en relación al peso corporal

m·s⁻¹: Metros por segundo

CA: Carga alta. Entrenamiento de intensidades relativas comprendidas entre el 70% y el 90% de una repetición máxima (1RM).

CB: Carga baja. Entrenamiento de intensidades relativas comprendidas entre el 40% y el 60% de una repetición máxima (1RM).

CCI: Coeficiente de correlación intraclase

CE: Carácter del esfuerzo

CMJ: Salto con contramovimiento

CMJc: Salto con contramovimiento con cargas externas

CV: Coeficiente de variación

GCA: Grupo que entrena con carga alta (70 - 90% de 1RM; 0.84 - 0.51 m·s⁻¹)

GCB: Grupo que entrena con carga baja (40 - 60% de 1RM; 1.28 - 0.98 m·s⁻¹)

GD: Grupo débil

GDCA: Grupo débil que entrena con carga alta (70 - 90% de 1RM; 0.84 - 0.51 m·s⁻¹)

GDCB: Grupo débil que entrena con carga baja (40 - 60% de 1RM; 1.28 - 0.98 m·s⁻¹)

GF: Grupo fuerte

GFCA: Grupo fuerte que entrena con carga alta (70 - 90% de 1RM; 0.84 - 0.51 m·s⁻¹)

GFGB: Grupo fuerte que entrena con carga baja (40 - 60% de 1RM; 1.28 - 0.98 m·s⁻¹)

GH: Growth hormone o Hormona de crecimiento

IC: Intervalo de confianza

IE: Índice de Esfuerzo

IGF-1: Insulin-like growth factor-1 o Somatomedina C

Ratio T/C: Ratio testosterona/cortisol

RM: Repetición máxima

SJ: Salto sin contramovimiento

SQ: Sentadilla completa

T10m: Tiempo en recorrer la distancia desde 0 a 10 metros

T10-20m: Tiempo en recorrer la distancia de 10 a 20 metros

T20m: Tiempo en recorrer la distancia de 0 a 20 metros

T20-30m: Tiempo en recorrer la distancia de 20 a 30 metros

T30m: Tiempo en recorrer la distancia de 0 a 30 metros

T/C: Testosterona/Cortisol

TE: Tamaño del efecto

TST: Testosterona

VMP: Media de la velocidad media propulsiva de las cargas comunes en ambos tests para el ejercicio de sentadilla completa (VMP), en $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.

VMP<1: Media de la velocidad media propulsiva de las cargas comunes en ambos tests que podían ser desplazadas a una velocidad igual o superior a $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ en el pre-test para el ejercicio de sentadilla completa, en $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.

VMP \geq 1: Media de la velocidad media propulsiva de las cargas comunes en ambos tests que podían ser desplazadas a una velocidad igual o superior a $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ en el pre-test para el ejercicio de sentadilla completa, en $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.

13. Referencias bibliográficas

- Aagaard, P., Andersen, J. L., Dyhre-Poulsen, P., Leffers, A. M., Wagner, A., Magnusson, S. P., . . . Simonsen, E. B. (2001). A mechanism for increased contractile strength of human pennate muscle in response to strength training: changes in muscle architecture. *J Physiol*, 534(Pt. 2), 613-623. doi: PHY_12099 [pii]
- Adams, G. R., & Bamman, M. M. (2012). Characterization and regulation of mechanical loading-induced compensatory muscle hypertrophy. *Compr Physiol*, 2(4), 2829-2870. doi: 10.1002/cphy.c110066
- Ahtiainen, J. P., Pakarinen, A., Alen, M., Kraemer, W. J., & Hakkinen, K. (2003). Muscle hypertrophy, hormonal adaptations and strength development during strength training in strength-trained and untrained men. *Eur J Appl Physiol*, 89(6), 555-563. doi: 10.1007/s00421-003-0833-3
- Ahtiainen, J. P., Pakarinen, A., Kraemer, W. J., & Hakkinen, K. (2003). Acute hormonal and neuromuscular responses and recovery to forced vs maximum repetitions multiple resistance exercises. *Int J Sports Med*, 24(6), 410-418. doi: 10.1055/s-2003-41171
- Akima, H., & Saito, A. (2013). Activation of quadriceps femoris including vastus intermedius during fatiguing dynamic knee extensions. *Eur J Appl Physiol*, 113(11), 2829-2840. doi: 10.1007/s00421-013-2721-9
- Alen, M., Pakarinen, A., Hakkinen, K., & Komi, P. V. (1988). Responses of serum androgenic-anabolic and catabolic hormones to prolonged strength training. *Int J Sports Med*, 9(3), 229-233.
- Anderson, T., & Kearney, J. T. (1982). Effects of three resistance training programs on muscular strength and absolute and relative endurance. *Res Q Exerc Sport*, 53(1), 1-7. doi: 10.1080/02701367.1982.10605218

- Baker, D., Nance, S., & Moore, M. (2001). The load that maximizes the average mechanical power output during jump squats in power-trained athletes. *J Strength Cond Res*, 15(1), 92-97.
- Baker, Daniel, Wilson, Greg, & Carlyon, Robert. (1994). Periodization: The Effect on Strength of Manipulating Volume and Intensity. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 8(4), 235-242.
- Bartolomei, S., Hoffman, J. R., Merni, F., & Stout, J. R. (2014). A comparison of traditional and block periodized strength training programs in trained athletes. *J Strength Cond Res*, 28(4), 990-997. doi: 10.1519/JSC.0000000000000366
- Bartolomei, S., Stout, J. R., Fukuda, D. H., Hoffman, J. R., & Merni, F. (2015). Block vs. Weekly Undulating Periodized Resistance Training Programs in Women. *J Strength Cond Res*, 29(10), 2679-2687. doi: 10.1519/JSC.0000000000000948
- Batterham, A. M., & Hopkins, W. G. (2006). Making meaningful inferences about magnitudes. *Int J Sports Physiol Perform*, 1(1), 50-57.
- Behm, D. G., & Sale, D. G. (1993). Intended rather than actual movement velocity determines velocity-specific training response. *J Appl Physiol*, 74(1), 359-368.
- Bird, S. P., Tarpenning, K. M., & Marino, F. E. (2005). Designing resistance training programmes to enhance muscular fitness: a review of the acute programme variables. *Sports Med*, 35(10), 841-851. doi: 35102 [pii]
- Blazevich, A. J., & Jenkins, D. G. (2002). Effect of the movement speed of resistance training exercises on sprint and strength performance in concurrently training elite junior sprinters. *J Sports Sci*, 20(12), 981-990. doi: 10.1080/026404102321011742
- Borst, S. E., De Hoyos, D. V., Garzarella, L., Vincent, K., Pollock, B. H., Lowenthal, D. T., & Pollock, M. L. (2001). Effects of resistance training on insulin-like growth factor-I and IGF binding proteins. *Med Sci Sports Exerc*, 33(4), 648-653.
- Bottaro, M., Machado, S. N., Nogueira, W., Scales, R., & Veloso, J. (2007). Effect of high versus low-velocity resistance training on muscular fitness and functional

- performance in older men. *Eur J Appl Physiol*, 99(3), 257-264. doi: 10.1007/s00421-006-0343-1
- Buckner, S. L., Mouser, J. G., Jessee, M. B., Dankel, S. J., Mattocks, K. T., & Loenneke, J. P. (2017). What does individual strength say about resistance training status? *Muscle Nerve*, 55(4), 455-457. doi: 10.1002/mus.25461
- Burd, N. A., Moore, D. R., Mitchell, C. J., & Phillips, S. M. (2013). Big claims for big weights but with little evidence. *Eur J Appl Physiol*, 113(1), 267-268. doi: 10.1007/s00421-012-2527-1
- Campos, G. E., Luecke, T. J., Wendeln, H. K., Toma, K., Hagerman, F. C., Murray, T. F., . . . Staron, R. S. (2002). Muscular adaptations in response to three different resistance-training regimens: specificity of repetition maximum training zones. *Eur J Appl Physiol*, 88(1-2), 50-60. doi: 10.1007/s00421-002-0681-6
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd ed.). Hillsdale, N.J.: L. Erlbaum Associates.
- Conceicao, F., Fernandes, J., Lewis, M., Gonzalez-Badillo, J. J., & Jimenez-Reyes, P. (2016). Movement velocity as a measure of exercise intensity in three lower limb exercises. *J Sports Sci*, 34(12), 1099-1106. doi: 10.1080/02640414.2015.1090010
- Cook, S. B., Murphy, B. G., & Labarbera, K. E. (2013). Neuromuscular function after a bout of low-load blood flow-restricted exercise. *Med Sci Sports Exerc*, 45(1), 67-74. doi: 10.1249/MSS.0b013e31826c6fa8
- Cormie, P., McCaulley, G. O., & McBride, J. M. (2007). Power versus strength-power jump squat training: influence on the load-power relationship. *Med Sci Sports Exerc*, 39(6), 996-1003. doi: 10.1097/mss.0b013e3180408e0c00005768-200706000-00015 [pii]
- Crewther, B., Cronin, J., & Keogh, J. (2005). Possible stimuli for strength and power adaptation: acute mechanical responses. *Sports Med*, 35(11), 967-989.

- Cronin, J., & Sleivert, G. (2005). Challenges in understanding the influence of maximal power training on improving athletic performance. *Sports Med*, 35(3), 213-234. doi: 3533 [pii]
- Chandler, R. M., Byrne, H. K., Patterson, J. G., & Ivy, J. L. (1994). Dietary supplements affect the anabolic hormones after weight-training exercise. *J Appl Physiol (1985)*, 76(2), 839-845.
- Dankel, S. J., Loenneke, J. P., & Loprinzi, P. D. (2016). Determining the Importance of Meeting Muscle-Strengthening Activity Guidelines: Is the Behavior or the Outcome of the Behavior (Strength) a More Important Determinant of All-Cause Mortality? *Mayo Clin Proc*, 91(2), 166-174. doi: 10.1016/j.mayocp.2015.10.017
- Davies, TB, Kuang, K, Orr, R, Halaki, M, & Hackett, D. (2017). Effect of Movement Velocity During Resistance Training on Dynamic Muscular Strength: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Med*, Jan 2017. Epub ahead of print. doi: 10.1007/s40279-017-0676-4
- de Hoyo, M., Gonzalo-Skok, O., Sanudo, B., Carrascal, C., Plaza-Armas, J. R., Camacho-Candil, F., & Otero-Esquina, C. (2016). Comparative Effects of In-Season Full-Back Squat, Resisted Sprint Training, and Plyometric Training on Explosive Performance in U-19 Elite Soccer Players. *J Strength Cond Res*, 30(2), 368-377. doi: 10.1519/JSC.0000000000001094
- Delorme, Thomas L. (1945). Restoration of muscle power by heavy-resistance exercises. *JBJS*, 27(4), 645-667.
- Desmedt, J. E., & Godaux, E. (1977). Ballistic contractions in man: characteristic recruitment pattern of single motor units of the tibialis anterior muscle. *J Physiol*, 264(3), 673-693.
- Duchateau, J., & Enoka, R. M. (2011). Human motor unit recordings: origins and insight into the integrated motor system. *Brain Res*, 1409, 42-61. doi: 10.1016/j.brainres.2011.06.011

- Durand, R. J., Castracane, V. D., Hollander, D. B., Tryniecki, J. L., Bamman, M. M., O'Neal, S., . . . Kraemer, R. R. (2003). Hormonal responses from concentric and eccentric muscle contractions. *Med Sci Sports Exerc*, 35(6), 937-943. doi: 10.1249/01.MSS.0000069522.38141.0B
- Edman KA. The velocity of unloaded shortening and its relation to sarcomere length and isometric force in vertebrate muscle fibres. *The Journal of Physiology*. 1979;291:143-159.
- Edman, K. A. Contractile performance of skeletal muscle fibers. In: Strength and power in sport. Editado por P. Komi. Blackwell scientific publication 96-114. (1992).
- Ewing, J. L., Jr., Wolfe, D. R., Rogers, M. A., Amundson, M. L., & Stull, G. A. (1990). Effects of velocity of isokinetic training on strength, power, and quadriceps muscle fibre characteristics. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 61(1-2), 159-162.
- Fleck, SJ., & Kraemer, WJ. (1996). The ultimate training system: periodization breakthrough. *All Natural Muscular Development*.
- Fleck, S., & Kraemer, W. J. (1997). Designing resistance training programs. *Human Kinetics*.
- Franco-Marquez, F., Rodriguez-Rosell, D., Gonzalez-Suarez, J. M., Pareja-Blanco, F., Mora-Custodio, R., Yanez-Garcia, J. M., & Gonzalez-Badillo, J. J. (2015). Effects of Combined Resistance Training and Plyometrics on Physical Performance in Young Soccer Players. *Int J Sports Med*, 36(11), 906-914. doi: 10.1055/s-0035-1548890
- Friedmann, B., Kinscherf, R., Borisch, S., Richter, G., Bartsch, P., & Billeter, R. (2003). Effects of low-resistance/high-repetition strength training in hypoxia on muscle structure and gene expression. *Pflugers Arch*, 446(6), 742-751. doi: 10.1007/s00424-003-1133-9
- Fry, A. C. (2004). The role of resistance exercise intensity on muscle fibre adaptations. *Sports Med*, 34(10), 663-679.

- Fry, Andrew C. (1999). Overload and Regeneration During Resistance Exercise. In M. Lehmann, C. Foster, U. Gastmann, H. Keizer & J. M. Steinacker (Eds.), *Overload, Performance Incompetence, and Regeneration in Sport* (pp. 149-161). Boston, MA: Springer US.
- Fry, A. C., & Kraemer, W. J. (1997). Resistance exercise overtraining and overreaching. Neuroendocrine responses. *Sports Med*, 23(2), 106-129.
- Fry, A. C., Kraemer, W. J., Stone, M. H., Warren, B. J., Fleck, S. J., Kearney, J. T., & Gordon, S. E. (1994). Endocrine responses to overreaching before and after 1 year of weightlifting. *Can J Appl Physiol*, 19(4), 400-410.
- Frystyk, J. (2010). Exercise and the growth hormone-insulin-like growth factor axis. *Med Sci Sports Exerc*, 42(1), 58-66. doi: 10.1249/MSS.0b013e3181b07d2d
- Gonzalez-Badillo, J. J., Marques, M. C., & Sanchez-Medina, L. (2011). The importance of movement velocity as a measure to control resistance training intensity. *J Hum Kinet*, 29A, 15-19. doi: 10.2478/v10078-011-0053-6
- Gonzalez-Badillo, J. J., Pareja-Blanco, F., Rodriguez-Rosell, D., Abad-Herencia, J. L., Del Ojo-Lopez, J. J., & Sanchez-Medina, L. (2015). Effects of velocity-based resistance training on young soccer players of different ages. *J Strength Cond Res*, 29(5), 1329-1338. doi: 10.1519/JSC.0000000000000764
- Gonzalez-Badillo, J. J., Rodriguez-Rosell, D., Sanchez-Medina, L., Gorostiaga, E. M., & Pareja-Blanco, F. (2014). Maximal intended velocity training induces greater gains in bench press performance than deliberately slower half-velocity training. *Eur J Sport Sci*, 14(8), 772-781. doi: 10.1080/17461391.2014.905987
- Gonzalez-Badillo, J. J., & Sanchez-Medina, L. (2010). Movement velocity as a measure of loading intensity in resistance training. *Int J Sports Med*, 31(5), 347-352. doi: 10.1055/s-0030-1248333
- Gonzalez-Badillo, J. J., Yanez-Garcia, J. M., Mora-Custodio, R., & Rodriguez-Rosell, D. (2017). Velocity Loss as a Variable for Monitoring Resistance Exercise. *Int J Sports Med*, 38(3), 217-225. doi: 10.1055/s-0042-120324

- González-Badillo, JJ. (1991). Halterofilia. *Comité Olímpico Español*. Infocoes
- González-Badillo, JJ, & Gorostiaga, E. (1993). Metodología del entrenamiento para el desarrollo de la fuerza. *Máster en alto rendimiento deportivo. Comité Olímpico Español*.
- González-Badillo, JJ., & Gorostiaga, E. (1995). *Fundamentos del entrenamiento de la fuerza. Aplicación al alto rendimiento deportivo*.
- González-Badillo, JJ., & Ribas-Serna, J. (2002). Bases de la programación del entrenamiento de fuerza. *INDE*.
- Gonzalez-Badillo, J. J., Sanchez-Medina, L., Pareja-Blanco, F. & Rodriguez-Rosell, D., (2017). La velocidad de ejecución como referencia para la programación, control y evaluación del entrenamiento de fuerza. *Ergotech*.
- Gorostiaga, E. M., Izquierdo, M., Ruesta, M., Iribarren, J., Gonzalez-Badillo, J. J., & Ibanez, J. (2004). Strength training effects on physical performance and serum hormones in young soccer players. *Eur J Appl Physiol*, 91(5-6), 698-707. doi: 10.1007/s00421-003-1032-y
- Gotshalk, L. A., Loebel, C. C., Nindl, B. C., Putukian, M., Sebastianelli, W. J., Newton, R. U., . . . Kraemer, W. J. (1997). Hormonal responses of multiset versus single-set heavy-resistance exercise protocols. *Can J Appl Physiol*, 22(3), 244-255.
- Haff, G., Stone M, O'Bryant H, Harman E, Dinan C, Johnson R, and Ki-Hoon H (1997). Force-time dependent characteristics of dynamic and isometric muscle actions. *J. Strength Cond. Res*. 11:269–277.
- Hakkinen, K. (1989). Neuromuscular and hormonal adaptations during strength and power training. A review. *J Sports Med Phys Fitness*, 29(1), 9-26.
- Häkkinen, K (1994). Neuromuscular adaptation during strength training, aging, detraining and immobilization. *Crit. Rev. Phys. Rehab. Med*. 6:161–198.

- Häkkinen K & Pakarinen A (1993). Acute hormonal responses to two different fatiguing heavy-resistance protocols in male athletes. *J Appl Physiol*. 74(2):882-7
- Hakkinen, K., Alen, M., & Komi, P. V. (1985). Changes in isometric force- and relaxation-time, electromyographic and muscle fibre characteristics of human skeletal muscle during strength training and detraining. *Acta Physiol Scand*, 125(4), 573-585. doi: 10.1111/j.1748-1716.1985.tb07760.x
- Hakkinen, K., Komi, P. V., Alen, M., & Kauhanen, H. (1987). EMG, muscle fibre and force production characteristics during a 1 year training period in elite weight-lifters. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 56(4), 419-427.
- Hakkinen, K., & Pakarinen, A. (1991). Serum hormones in male strength athletes during intensive short term strength training. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 63(3-4), 194-199.
- Hakkinen, K., Pakarinen, A., Alen, M., Kauhanen, H., & Komi, P. V. (1988). Neuromuscular and hormonal adaptations in athletes to strength training in two years. *J Appl Physiol (1985)*, 65(6), 2406-2412.
- Hakkinen, K., Pakarinen, A., Alen, M., & Komi, P. V. (1985). Serum hormones during prolonged training of neuromuscular performance. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 53(4), 287-293.
- Häkkinen K, Pakarinen A, Alén M, Kauhanen H, Komi PV (1987). Relationships between training volume, physical performance capacity, and serum hormone concentrations during prolonged training in elite weight lifters. *Int J Sports Med*. 8: Suppl 1:61-5.
- Hakkinen, K., Pakarinen, A., Kraemer, W. J., Newton, R. U., & Alen, M. (2000). Basal concentrations and acute responses of serum hormones and strength development during heavy resistance training in middle-aged and elderly men and women. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 55(2), B95-105.

- Hakkinen, K., Pakarinen, A., Kyrolainen, H., Cheng, S., Kim, D. H., & Komi, P. V. (1990). Neuromuscular adaptations and serum hormones in females during prolonged power training. *Int J Sports Med*, 11(2), 91-98. doi: 10.1055/s-2007-1024769
- Hansen, S., Kvorning, T., Kjaer, M., & Sjogaard, G. (2001). The effect of short-term strength training on human skeletal muscle: the importance of physiologically elevated hormone levels. *Scand J Med Sci Sports*, 11(6), 347-354.
- Harris G, Stone M, O'Bryant S, Proulx C, Johnson L (2000). Short-term performance effects of high power, high force, or combined weight-training methods. *J Strength Cond Res* 14(1), 14–20.
- Harris, C., DeBeliso, M. A., Spitzer-Gibson, T. A., & Adams, K. J. (2004). The effect of resistance-training intensity on strength-gain response in the older adult. *J Strength Cond Res*, 18(4), 833-838. doi: 10.1519/14758.1
- Harris, N., Cronin, J., & Keogh, J. (2007). Contraction force specificity and its relationship to functional performance. *J Sports Sci*, 25(2), 201-212. doi: U208644445P21363 [pii] 10.1080/02640410600630910
- Harris, N. K., Cronin, J. B., Hopkins, W. G., & Hansen, K. T. (2008). Squat jump training at maximal power loads vs. heavy loads: effect on sprint ability. *J Strength Cond Res*, 22(6), 1742-1749. doi: 10.1519/JSC.0b013e318187458a
- Hartmann, H., Wirth, K., & Klusemann, M. (2013). Analysis of the load on the knee joint and vertebral column with changes in squatting depth and weight load. *Sports Med*, 43(10), 993-1008. doi: 10.1007/s40279-013-0073-6
- Hartmann, H., Wirth, K., Klusemann, M., Dalic, J., Matuschek, C., & Schmidtbleicher, D. (2012). Influence of squatting depth on jumping performance. *J Strength Cond Res*, 26(12), 3243-3261. doi: 10.1519/JSC.0b013e31824ede62
- Hedges, L. V., & Olkin, O. (1985). Statistical Methods for Meta-Analysis. *Academic Press*.

- Helgerud, J., Kemi, O. J., & Hoff, J. (2002). Pre-Season Concurrent Strength and Endurance Development in Elite Soccer Players. In J. Hoff, & J. Helgerud (Eds.) *Football (Soccer): New Developments in Physical Training Research* (pp. 55-66). Trondheim: NTNU
- Henneman, E., Somjen, G., & Carpenter, D. O. (1965). Functional Significance of Cell Size in Spinal Motoneurons. *J Neurophysiol*, 28, 560-580.
- Hermassi, S., Chelly, M. S., Fathloun, M., & Shephard, R. J. (2010). The effect of heavy- vs. moderate-load training on the development of strength, power, and throwing ball velocity in male handball players. *J Strength Cond Res*, 24(9), 2408-2418. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181e58d7c
- Hoffman, J. R., Im, J., Rundell, K. W., Kang, J., Nioka, S., Spiering, B. A., . . . Chance, B. (2003). Effect of muscle oxygenation during resistance exercise on anabolic hormone response. *Med Sci Sports Exerc*, 35(11), 1929-1934. doi: 10.1249/01.MSS.0000093613.30362.DF
- Holm, L., Reitelseder, S., Pedersen, T. G., Doessing, S., Petersen, S. G., Flyvbjerg, A., . . . Kjaer, M. (2008). Changes in muscle size and MHC composition in response to resistance exercise with heavy and light loading intensity. *J Appl Physiol*, 105(5), 1454-1461. doi: 90538.2008 [pii] 10.1152/japplphysiol.90538.2008
- Hoogeveen, AR, & Zonderland, ML. (1996). Relationships between testosterone, cortisol and performance in professional cyclists. *Int J Sports Med*, 17(6), 423-428.
- Hopkins, W. G. (2006). Spreadsheets for analysis of controlled trials, with adjustment for a subject characteristic. *Sportscience*, 10, 46-50.
- Hopkins, W. G., Marshall, S. W., Batterham, A. M., & Hanin, J. (2009). Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Med Sci Sports Exerc*, 41(1), 3-13. doi: 10.1249/MSS.0b013e31818cb278
- Izquierdo, M., Hakkinen, K., Gonzalez-Badillo, J. J., Ibanez, J., & Gorostiaga, E. M. (2002). Effects of long-term training specificity on maximal strength and power

- of the upper and lower extremities in athletes from different sports. *Eur J Appl Physiol*, 87(3), 264-271. doi: 10.1007/s00421-002-0628-y
- Izquierdo, M., Ibanez, J., Gonzalez-Badillo, J. J., Hakkinen, K., Ratamess, N. A., Kraemer, W. J., . . . Gorostiaga, E. M. (2006a). Differential effects of strength training leading to failure versus not to failure on hormonal responses, strength, and muscle power gains. *J Appl Physiol* (1985), 100(5), 1647-1656. doi: 01400.2005 [pii] 10.1152/jappphysiol.01400.2005
- Izquierdo, M., Ibanez, J., Gonzalez-Badillo, J. J., Hakkinen, K., Ratamess, N. A., Kraemer, W. J., . . . Gorostiaga, E. M. (2006b). Differential effects of strength training leading to failure versus not to failure on hormonal responses, strength, and muscle power gains. *J Appl Physiol*, 100(5), 1647-1656. doi: 01400.2005 [pii] 10.1152/jappphysiol.01400.2005
- Jackson, C. G., Dickinson, A. L., & Ringel, S. P. (1990). Skeletal muscle fiber area alterations in two opposing modes of resistance-exercise training in the same individual. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 61(1-2), 37-41.
- Jezova, D., & Vigas, M. (1981). Testosterone response to exercise during blockade and stimulation of adrenergic receptors in man. *Horm Res*, 15(3), 141-147.
- Jidovtseff, B., Harris, N. K., Crielaard, J. M., & Cronin, J. B. (2011). Using the load-velocity relationship for 1RM prediction. *J Strength Cond Res*, 25(1), 267-270. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181b62c5f
- Jones, K., Bishop, P., Hunter, G., & Fleisig, G. (2001). The effects of varying resistance-training loads on intermediate- and high-velocity-specific adaptations. *J Strength Cond Res*, 15(3), 349-356.
- Jurca, R., Lamonte, M. J., Church, T. S., Earnest, C. P., Fitzgerald, S. J., Barlow, C. E., . . . Blair, S. N. (2004). Associations of muscle strength and fitness with metabolic syndrome in men. *Med Sci Sports Exerc*, 36(8), 1301-1307.

- Kaneko M, Fuchimoto T, Toji H, Suei K. (1983). Training effect of different loads on the force–velocity relationship and mechanical power output in human muscle. *Scand J Med Sci Sports*. 5(2):50–5.
- Kawakami, Y., Abe, T., Kuno, S. Y., & Fukunaga, T. (1995). Training-induced changes in muscle architecture and specific tension. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 72(1-2), 37-43.
- Kawamori, N., & Haff, G. G. (2004). The optimal training load for the development of muscular power. *J Strength Cond Res*, 18(3), 675-684. doi: 10.1519/1533-4287(2004)18<675:TOTLFT>2.0.CO;2
- Klemp, A., Dolan, C., Quiles, J. M., Blanco, R., Zoeller, R. F., Graves, B. S., & Zourdos, M. C. (2016). Volume-equated high- and low-repetition daily undulating programming strategies produce similar hypertrophy and strength adaptations. *Appl Physiol Nutr Metab*, 41(7), 699-705. doi: 10.1139/apnm-2015-0707
- Kosek, D. J., Kim, J. S., Petrella, J. K., Cross, J. M., & Bamman, M. M. (2006). Efficacy of 3 days/wk resistance training on myofiber hypertrophy and myogenic mechanisms in young vs. older adults. *J Appl Physiol* (1985), 101(2), 531-544. doi: 10.1152/japplphysiol.01474.2005
- Kraemer, W. J., Adams, K., Cafarelli, E., Dudley, G. A., Dooly, C., Feigenbaum, M. S., . . . American College of Sports, Medicine. (2002). American College of Sports Medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults. *Med Sci Sports Exerc*, 34(2), 364-380.
- Kraemer, W. J., Aguilera, B. A., Terada, M., Newton, R. U., Lynch, J. M., Rosendaal, G., . . . Hakkinen, K. (1995). Responses of IGF-I to endogenous increases in growth hormone after heavy-resistance exercise. *J Appl Physiol* (1985), 79(4), 1310-1315.
- Kraemer WJ, Clemson A, Triplett NT, et al. (1996). The effects of plasma cortisol elevation on total and differential leukocyte counts in response to heavy-resistance exercise. *Eur J Appl Physiol*. 73: 93-7

- Kraemer, W. J., Dziados, J. E., Marchitelli, L. J., Gordon, S. E., Harman, E. A., Mello, R., . . . Triplett, N. T. (1993). Effects of different heavy-resistance exercise protocols on plasma beta-endorphin concentrations. *J Appl Physiol* (1985), 74(1), 450-459.
- Kraemer, W. J., Fleck, S. J., Callister, R., Shealy, M., Dudley, G. A., Maresh, C. M., . . . Falkel, J. E. (1989). Training responses of plasma beta-endorphin, adrenocorticotropin, and cortisol. *Med Sci Sports Exerc*, 21(2), 146-153.
- Kraemer, W. J., Fleck, S. J., Dziados, J. E., Harman, E. A., Marchitelli, L. J., Gordon, S. E., . . . Triplett, N. T. (1993). Changes in hormonal concentrations after different heavy-resistance exercise protocols in women. *J Appl Physiol* (1985), 75(2), 594-604.
- Kraemer, W. J., Fleck, S. J., Maresh, C. M., Ratamess, N. A., Gordon, S. E., Goetz, K. L., . . . Patton, J. F. (1999). Acute hormonal responses to a single bout of heavy resistance exercise in trained power lifters and untrained men. *Can J Appl Physiol*, 24(6), 524-537.
- Kraemer, W. J., Fry, A. C., Warren, B. J., Stone, M. H., Fleck, S. J., Kearney, J. T., . . . et al. (1992). Acute hormonal responses in elite junior weightlifters. *Int J Sports Med*, 13(2), 103-109. doi: 10.1055/s-2007-1021240
- Kraemer, W. J., Gordon, S. E., Fleck, S. J., Marchitelli, L. J., Mello, R., Dziados, J. E., . . . Fry, A. C. (1991). Endogenous anabolic hormonal and growth factor responses to heavy resistance exercise in males and females. *Int J Sports Med*, 12(2), 228-235. doi: 10.1055/s-2007-1024673
- Kraemer, W. J., Hakkinen, K., Newton, R. U., Nindl, B. C., Volek, J. S., McCormick, M., . . . Evans, W. J. (1999). Effects of heavy-resistance training on hormonal response patterns in younger vs. older men. *J Appl Physiol* (1985), 87(3), 982-992.
- Kraemer, W. J., Marchitelli, L., Gordon, S. E., Harman, E., Dziados, J. E., Mello, R., . . . Fleck, S. J. (1990). Hormonal and growth factor responses to heavy resistance exercise protocols. *J Appl Physiol* (1985), 69(4), 1442-1450.

- Kraemer, W. J., & Ratamess, N. A. (2004). Fundamentals of resistance training: progression and exercise prescription. *Med Sci Sports Exerc*, 36(4), 674-688.
- Kraemer, W. J., & Ratamess, N. A. (2005). Hormonal responses and adaptations to resistance exercise and training. *Sports Med*, 35(4), 339-361.
- Kraemer, W. J., Volek, J. S., Bush, J. A., Putukian, M., & Sebastianelli, W. J. (1998). Hormonal responses to consecutive days of heavy-resistance exercise with or without nutritional supplementation. *J Appl Physiol* (1985), 85(4), 1544-1555.
- Kraemer, William J. (1997). A Series of Studies-The Physiological Basis for Strength Training in American Football: Fact Over Philosophy. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 11(3), 131-142.
- Lamas, L., Ugrinowitsch, C., Rodacki, A., Pereira, G., Mattos, E. C., Kohn, A. F., & Tricoli, V. (2012). Effects of strength and power training on neuromuscular adaptations and jumping movement pattern and performance. *J Strength Cond Res*, 26(12), 3335-3344. doi: 10.1519/JSC.0b013e318248ad16
- Leal, M. L., Lamas, L., Aoki, M. S., Ugrinowitsch, C., Ramos, M. S., Tricoli, V., & Moriscot, A. S. (2011). Effect of different resistance-training regimens on the WNT-signaling pathway. *Eur J Appl Physiol*, 111(10), 2535-2545. doi: 10.1007/s00421-011-1874-7
- Lin, H., Wang, S. W., Wang, R. Y., & Wang, P. S. (2001). Stimulatory effect of lactate on testosterone production by rat Leydig cells. *J Cell Biochem*, 83(1), 147-154.
- Lopez-Segovia, M., Palao Andres, J. M., & Gonzalez-Badillo, J. J. (2010). Effect of 4 months of training on aerobic power, strength, and acceleration in two under-19 soccer teams. *J Strength Cond Res*, 24(10), 2705-2714. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181cc237d
- Lu, S. S., Lau, C. P., Tung, Y. F., Huang, S. W., Chen, Y. H., Shih, H. C., . . . Wang, P. S. (1997). Lactate and the effects of exercise on testosterone secretion: evidence for the involvement of a cAMP-mediated mechanism. *Med Sci Sports Exerc*, 29(8), 1048-1054.

- Maas, H. C. M., de Vries, W. R., Maitimu, I., Bol, E., Bowers, C. Y., & Koppeschaar, H. P. (2000). Growth hormone responses during strenuous exercise: the role of GH-releasing hormone and GH-releasing peptide-2. *Med Sci Sports Exerc*, 32(7), 1226-1232.
- MacDougall JD, Wenger HA, Green HJ (1982) Physiological testing of the elite athlete. Ithaca, New York: Movement Publications, Inc
- Madzima, T. A., Ormsbee, M. J., Schleicher, E. A., Moffatt, R. J., & Panton, L. B. (2017). Effects of Resistance Training and Protein Supplementation in Breast Cancer Survivors. *Med Sci Sports Exerc*. doi: 10.1249/MSS.0000000000001250
- Mangine, G. T., Ratamess, N. A., Hoffman, J. R., Faigenbaum, A. D., Kang, J., & Chilakos, A. (2008). The effects of combined ballistic and heavy resistance training on maximal lower- and upper-body strength in recreationally trained men. *J Strength Cond Res*, 22(1), 132-139. doi: 10.1519/JSC.0b013e31815f5729
- Marques, M. C., & Gonzalez-Badillo, J. J. (2006). In-season resistance training and detraining in professional team handball players. *J Strength Cond Res*, 20(3), 563-571. doi: 10.1519/R-17365.1
- Marx, J. O., Ratamess, N. A., Nindl, B. C., Gotshalk, L. A., Volek, J. S., Dohi, K., . . . Kraemer, W. J. (2001). Low-volume circuit versus high-volume periodized resistance training in women. *Med Sci Sports Exerc*, 33(4), 635-643.
- McBride, J. M., Triplett-McBride, T., Davie, A., & Newton, R. U. (2002). The effect of heavy- vs. light-load jump squats on the development of strength, power, and speed. *J Strength Cond Res*, 16(1), 75-82.
- McCall, G. E., Byrnes, W. C., Fleck, S. J., Dickinson, A., & Kraemer, W. J. (1999). Acute and chronic hormonal responses to resistance training designed to promote muscle hypertrophy. *Can J Appl Physiol*, 24(1), 96-107.
- McDonagh, M. J., & Davies, C. T. (1984). Adaptive response of mammalian skeletal muscle to exercise with high loads. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 52(2), 139-155.

- Mitchell, C. J., Churchward-Venne, T. A., West, D. W., Burd, N. A., Breen, L., Baker, S. K. (2012). Resistance exercise load does not determine training-mediated hypertrophic gains in young men. *J Appl Physiol*, 113(1), 71-77.
- Mora-Custodio, R., Rodriguez-Rosell, D., Pareja-Blanco, F., Yanez-Garcia, J. M., & Gonzalez-Badillo, J. J. (2016). Effect of Low- vs. Moderate-Load Squat Training on Strength, Jump and Sprint Performance in Physically Active Women. *Int J Sports Med*, 37(6), 476-482. doi: 10.1055/s-0042-100471
- Moss, B. M., Refsnes, P. E., Abildgaard, A., Nicolaysen, K., & Jensen, J. (1997). Effects of maximal effort strength training with different loads on dynamic strength, cross-sectional area, load-power and load-velocity relationships. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 75(3), 193-199. doi: 10.1007/s004210050147
- Nardone, A., Romano, C., & Schieppati, M. (1989). Selective recruitment of high-threshold human motor units during voluntary isotonic lengthening of active muscles. *J Physiol*, 409, 451-471.
- Pallares, J. G., Sanchez-Medina, L., Perez, C. E., De La Cruz-Sanchez, E., & Mora-Rodriguez, R. (2014). Imposing a pause between the eccentric and concentric phases increases the reliability of isoinertial strength assessments. *J Sports Sci*, 32(12), 1165-1175. doi: 10.1080/02640414.2014.889844
- Pareja-Blanco, F., Rodriguez-Rosell, D., Sanchez-Medina, L., Gorostiaga, E. M., & Gonzalez-Badillo, J. J. (2014). Effect of movement velocity during resistance training on neuromuscular performance. *Int J Sports Med*, 35(11), 916-924. doi: 10.1055/s-0033-1363985
- Pareja-Blanco, F., Rodriguez-Rosell, D., Sanchez-Medina, L., Ribas-Serna, J., Lopez-Lopez, C., Mora-Custodio, R., . . . Gonzalez-Badillo, J. J. (2016a). Acute and delayed response to resistance exercise leading or not leading to muscle failure. *Clin Physiol Funct Imaging*. doi: 10.1111/cpf.12348
- Pareja-Blanco, F., Rodriguez-Rosell, D., Sanchez-Medina, L., Sanchis-Moysi, J., Dorado, C., Mora-Custodio, R., . . . Gonzalez-Badillo, J. J. (2016b). Effects of

- velocity loss during resistance training on athletic performance, strength gains and muscle adaptations. *Scand J Med Sci Sports*. doi: 10.1111/sms.12678
- Pareja-Blanco, F., Sanchez-Medina, L., Suarez-Arrones, L., & Gonzalez-Badillo, J. J. (2016c). Effects of Velocity Loss During Resistance Training on Performance in Professional Soccer Players. *Int J Sports Physiol Perform*, 1-24. doi: 10.1123/ijsp.2016-0170
- Pesta, D. H., Goncalves, R. L., Madiraju, A. K., Strasser, B., & Sparks, L. M. (2017). Resistance training to improve type 2 diabetes: working toward a prescription for the future. *Nutr Metab (Lond)*, 14, 24. doi: 10.1186/s12986-017-0173-7
- Peterson, M. D., Rhea, M. R., & Alvar, B. A. (2004). Maximizing strength development in athletes: a meta-analysis to determine the dose-response relationship. *J Strength Cond Res*, 18(2), 377-382. doi: 10.1519/R-12842.1
- Prestes, J., Frollini, A. B., de Lima, C., Donatto, F. F., Foschini, D., de Cassia Marqueti, R., . . . Fleck, S. J. (2009). Comparison between linear and daily undulating periodized resistance training to increase strength. *J Strength Cond Res*, 23(9), 2437-2442. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181c03548
- Putman, C. T., Xu, X., Gillies, E., MacLean, I. M., & Bell, G. J. (2004). Effects of strength, endurance and combined training on myosin heavy chain content and fibre-type distribution in humans. *Eur J Appl Physiol*, 92(4-5), 376-384. doi: 10.1007/s00421-004-1104-7
- Pyka, G., Wiswell, R. A., & Marcus, R. (1992). Age-dependent effect of resistance exercise on growth hormone secretion in people. *J Clin Endocrinol Metab*, 75(2), 404-407. doi: 10.1210/jcem.75.2.1639942
- Raastad, T., Bjoro, T., & Hallen, J. (2000). Hormonal responses to high- and moderate-intensity strength exercise. *Eur J Appl Physiol*, 82(1-2), 121-128. doi: 10.1007/s004210050661

- Raastad, T., Glomsheller, T., Bjoro, T., & Hallen, J. (2001). Changes in human skeletal muscle contractility and hormone status during 2 weeks of heavy strength training. *Eur J Appl Physiol*, 84(1-2), 54-63. doi: 10.1007/s004210000328
- Ratamess NA, Kraemer WJ, Volek JS, et al. (2004) .Effects of heavy-resistance exercise volume on post-exercise androgen receptor content in resistance-trained men. *Med Sci Sports Exerc*. 36(5): S238
- Ratamess, N. A., Kraemer, W. J., Volek, J. S., French, D. N., Rubin, M. R., Gomez, A. L., . . . Maresh, C. M. (2007). The effects of ten weeks of resistance and combined plyometric/sprint training with the Meridian Elyte athletic shoe on muscular performance in women. *J Strength Cond Res*, 21(3), 882-887. doi: 10.1519/R-50512.1
- Ratamess, N. A., Alvar, B. A., Evetoch, T. K., Housh, T. J., Kibler, B., & Kraemer, W. J. (2009). American College of Sports Medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults. *Med Sci Sports Exerc*, 41(3), 687-708.
- Rhea, M. R., Alvar, B. A., Burkett, L. N., & Ball, S. D. (2003). A meta-analysis to determine the dose response for strength development. *Med Sci Sports Exerc*, 35(3), 456-464. doi: 10.1249/01.MSS.0000053727.63505.D4
- Rodriguez-Rosell, D., Franco-Marquez, F., Mora-Custodio, R., & Gonzalez-Badillo, J. J. (2016). The effect of high-speed strength training on physical performance in young soccer players of different ages. *J Strength Cond Res*. doi: 10.1519/JSC.0000000000001706
- Rodriguez-Rosell, D., Franco-Marquez, F., Pareja-Blanco, F., Mora-Custodio, R., Yanez-Garcia, J. M., Gonzalez-Suarez, J. M., & Gonzalez-Badillo, J. J. (2016). Effects of 6 Weeks Resistance Training Combined With Plyometric and Speed Exercises on Physical Performance of Pre-Peak-Height-Velocity Soccer Players. *Int J Sports Physiol Perform*, 11(2), 240-246. doi: 10.1123/ijsp.2015-0176
- Rønnestad, B. R., Kvamme, N. H., Sunde, A., & Raastad, T. (2008). Short-term effects of strength and plyometric training on sprint and jump performance in

- professional soccer players. *J Strength Cond Res*, 22(3), 773-780. doi: 10.1519/JSC.0b013e31816a5e86
- Rubin, M. R., Kraemer, W. J., Maresh, C. M., Volek, J. S., Ratamess, N. A., Vanheest, J. L., . . . Hymer, W. C. (2005). High-affinity growth hormone binding protein and acute heavy resistance exercise. *Med Sci Sports Exerc*, 37(3), 395-403.
- Saez de Villarreal, E., Requena, B., Izquierdo, M., & Gonzalez-Badillo, J. J. (2012). Enhancing sprint and strength performance: Combined versus maximal power, traditional heavy-resistance and plyometric training. *J Sci Med Sport*. doi: S1440-2440(12)00105-3 [pii] 10.1016/j.jsams.2012.05.007
- Sale DG. Neural adaptations to strength training (2003). In: Komi PV, editor. *Strength and Power in Sport*. Oxford (UK): Blackwell Science; 2003. p. 281–313.
- Sánchez-Medina, L, Pallares, J. G., Perez, C. E., Morán-Navarro, R, & González-Badillo, JJ. (2017). Estimation of relative load from bar velocity in the full back squat exercise. *Sports Medicine International Open*, 01(02), E80-E88. doi: 10.1055/s-0043-102933
- Sanchez-Medina, L., & Gonzalez-Badillo, J. J. (2011). Velocity loss as an indicator of neuromuscular fatigue during resistance training. *Med Sci Sports Exerc*, 43(9), 1725-1734. doi: 10.1249/MSS.0b013e318213f880
- Sanchez-Medina, L., Gonzalez-Badillo, J. J., Perez, C. E., & Pallares, J. G. (2014). Velocity- and power-load relationships of the bench pull vs. bench press exercises. *Int J Sports Med*, 35(3), 209-216. doi: 10.1055/s-0033-1351252
- Sanchez-Moreno, M., Rodriguez-Rosell, D., Pareja-Blanco, F., Mora-Custodio, R., & Gonzalez-Badillo, J. J. (2017). Movement Velocity as Indicator of Relative Intensity and Level of Effort Attained During the Set in Pull-Up Exercise. *Int J Sports Physiol Perform*, 1-23. doi: 10.1123/ijsp.2016-0791
- Schmidtbleicher, D., & Haralambie, G. (1981). Changes in contractile properties of muscle after strength training in man. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 46(3), 221-228.

- Schmidtbleicher, D. (1992). Training for power events. In: *Strength and Power in Sport*. P.V. Komi, ed. London: Blackwell Scientific, pp. 381–395.
- Schoenfeld, B. J., Contreras, B., Willardson, J. M., Fontana, F., & Tiriyaki-Sonmez, G. (2014). Muscle activation during low- versus high-load resistance training in well-trained men. *Eur J Appl Physiol*, 114(12), 2491-2497. doi: 10.1007/s00421-014-2976-9
- Schoenfeld, B. J., Wilson, J. M., Lowery, R. P., & Krieger, J. W. (2016). Muscular adaptations in low- versus high-load resistance training: A meta-analysis. *Eur J Sport Sci*, 16(1), 1-10. doi: 10.1080/17461391.2014.989922
- Smilios I, Pilianidis T, Karamouzis M, et al. (2003). Hormonal responses after various resistance exercise protocols. *Med Sci Sports Exerc*. 35: 644-54
- Staron, R. S., Karapondo, D. L., Kraemer, W. J., Fry, A. C., Gordon, S. E., Falkel, J. E., . . . Hikida, R. S. (1994). Skeletal muscle adaptations during early phase of heavy-resistance training in men and women. *J Appl Physiol* (1985), 76(3), 1247-1255.
- Stone, MJ, & O'Bryant, H. (1987). Weight training: a scientific approach.
- Stone, M.H (1990). Physical and physiological preparation for weightlifting. In: *USWF Safety Manual*. J. Chandler and M.H. Stone, eds. Colorado Springs, CO: USWF, pp. 79–98.
- Stone, MH., Potteiger, JA., Pierce, KC., Proulx, CM., O'Bryant, HS., Johnson, RL., & Stone, ME. (2000). Comparison of the Effects of Three Different Weight-Training Programs on the One Repetition Maximum Squat. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 14(3), 332-337.
- Stone, William J., & Coulter, Scott P. (1994). Strength/Endurance Effects From Three Resistance Training Protocols With Women. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 8(4), 231-234.

- Takarada, Y., Tsuruta, T., & Ishii, N. (2004). Cooperative effects of exercise and occlusive stimuli on muscular function in low-intensity resistance exercise with moderate vascular occlusion. *Jpn J Physiol*, 54(6), 585-592.
- Thorstensson, A., Hulten, B., von Döbeln, W., & Karlsson, J. (1976). Effect of strength training on enzyme activities and fibre characteristics in human skeletal muscle. *Acta Physiol Scand*, 96(3), 392-398.
- Thorstensson, A., Karlsson, J., Viitasalo, J. H., Luhtanen, P., & Komi, P. V. (1976). Effect of strength training on EMG of human skeletal muscle. *Acta Physiol Scand*, 98(2), 232-236.
- Tidow, G. (1990). Aspects of strength training in athletics. *New Studies in Athletics* 1:93-110.
- Tsolakis, C. K., Vagenas, G. K., & Dessypris, A. G. (2004). Strength adaptations and hormonal responses to resistance training and detraining in preadolescent males. *J Strength Cond Res*, 18(3), 625-629. doi: 10.1519/1533-4287(2004)18<625:SAAHRT>2.0.CO;2
- Van Cutsem, M., Duchateau, J., & Hainaut, K. (1998). Changes in single motor unit behaviour contribute to the increase in contraction speed after dynamic training in humans. *J Physiol*, 513 (1), 295-305.
- Van Roie, E , Delecluse, C, Coudyzer, W , Boonen, S, & Bautmans, I. (2013). Strength training at high versus low external resistance in older adults: effects on muscle volume, muscle strength, and force-velocity characteristics. *Experimental Gerontology*, 48(11), 1351-1361. doi: 10.1016/j.exger.2013.08.010
- Vanhelder, W. P., Radomski, M. W., & Goode, R. C. (1984). Growth hormone responses during intermittent weight lifting exercise in men. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 53(1), 31-34.
- Verkhoshansky, Y. (1986). Fundamentals of special strength training in sport. *Livonia: Michigan Sportivny Press*.

- Verkhoshansky, Y. (1996). Componenti e struttura dell'impegno esplosivo di forza. *Rivista di cultura sportiva*. 34: 15-21.
- Watanabe, Y., Tanimoto, M., Oba, N., Sanada, K., Miyachi, M., & Ishii, N. (2015). Effect of resistance training using bodyweight in the elderly: Comparison of resistance exercise movement between slow and normal speed movement. *Geriatr Gerontol Int*, 15(12), 1270-1277. doi: 10.1111/ggi.12427
- Weiss, Lawrence W., Conex, Harvey D., & Clark, Frank C. (1999). Differential Functional Adaptations to Short-Term Low-, Moderate-, and High-Repetition Weight Training. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 13(3), 236-241.
- Wilson, G. J., Newton, R. U., Murphy, A. J., & Humphries, B. J. (1993). The optimal training load for the development of dynamic athletic performance. *Med Sci Sports Exerc*, 25(11), 1279-1286.
- Willoughby, Darryn S. (1993). The Effects of Mesocycle-Length Weight Training Programs Involving Periodization and Partially Equated Volumes on Upper and Lower Body Strength. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 7(1), 2-8.
- Winchester, J. B., McBride, J. M., Maher, M. A., Mikat, R. P., Allen, B. K., Kline, D. E., & McGuigan, M. R. (2008). Eight weeks of ballistic exercise improves power independently of changes in strength and muscle fiber type expression. *J Strength Cond Res*, 22(6), 1728-1734. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181821abb
- Wisloff, U., Castagna, C., Helgerud, J., Jones, R., & Hoff, J. (2004). Strong correlation of maximal squat strength with sprint performance and vertical jump height in elite soccer players. *Br J Sports Med*, 38(3), 285-288.
- Young, W.B. (1989). A comparison of power development methods. *Track Technique* 109: 3484-3486.

- Young, Warren B., & Bilby, Glenn E. (1993). The Effect of Voluntary Effort to Influence Speed of Contraction on Strength, Muscular Power, and Hypertrophy Development. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 7(3), 172-178.
- Zourdos, M. C., Klemp, A., Dolan, C., Quiles, J. M., Schau, K. A., Jo, E., . . . Blanco, R. (2016). Novel Resistance Training-Specific Rating of Perceived Exertion Scale Measuring Repetitions in Reserve. *J Strength Cond Res*, 30(1), 267-275. doi: 10.1519/JSC.0000000000001049

14. ANEXO I

CONSENTIMIENTO INFORMADO para los tests físicos

D.....

mayor de edad, con D.N.I. actuando en nombre propio,

DECLARO:

Que he sido informado por el Dr. Juan José González Badillo sobre las posibles consecuencias de las extracciones sanguíneas y de la realización de los esfuerzos físicos de sentadilla, de saltos sin cargas, saltos con carga y de velocidad en 10, 20 y 30 metros, así como de los riesgos potenciales y molestias que podrían derivarse de los mismos, a la vez que he podido realizar todas las preguntas que he considerado necesarias, respondiéndome a todas ellas de manera comprensible para mí.

También me ha informado de mi derecho a rechazar el tratamiento o revocar este consentimiento.

Por lo tanto, CONSIENTO en someterme a los protocolos indicados.

Si mi caso puede ser de utilidad científica y para tal fin se publican artículos científicos, autorizo su publicación siempre y cuando se me garantice el más absoluto respeto a mi intimidad y anonimato.

Firma del sujeto

Firma del responsable del estudio

En Sevilla, a de de 2013.

